



UNIVERSIDAD
"DON VASCO, A. C."

UNIVERSIDAD DON VASCO, A. C.

Incorporación No. 8727-15

a la Universidad Nacional Autónoma de México

ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL.

***ALTERNATIVA DE PROYECTO GEOMÉTRICO,
OBRA DE DRENAJE Y PAVIMENTACIÓN DE LA
CARRETERA CIUDAD HIDALGO-CASAS PINTAS,
DEL KM 3+000 AL KM 5+000.***

Tesis

que para obtener el título de

Ingeniero Civil

Presentan:

Iván Manzo Ferrer.

Martin Montaña Magaña.

Asesor: Ing. Anastasio Blanco Simiano.

Uruapan, Michoacán, 30 Enero 2012.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

ÍNDICE

Introducción.

Antecedentes	1
Planteamiento del problema	4
Objetivos	5
Preguntas de investigación	6
Justificación	7
Marco de referencia	8

Capítulo 1.- Elementos determinantes de una vía de comunicación.

1.1. Definición de camino o carretera	9
1.1.1. Clasificación técnica oficial de los caminos	10
1.1.2. Cargas y vehículos de proyecto	10
1.2. Selección de la ruta	12
1.3. Capacidad	19
1.3.1. Condiciones prevalecientes	19
1.3.2. Nivel de servicio	20
1.3.3. Volumen de servicio	20
1.3.4. Caminos según la configuración del terreno	21
1.3.5. Objeto de la capacidad	21
1.3.6. Factores relativos al camino	22
1.3.7. Capacidad y niveles de servicio en carreteras de dos carriles	26
1.3.8. Elementos críticos que requieren considerarse	29
1.3.9. Determinación de la capacidad y los niveles de servicio	31

Capítulo 2.- Alineamiento horizontal y vertical de un camino.

2.1. Alineamiento Horizontal	33
2.1.1. Tangentes	33
2.2. Curvas circulares	34
2.2.1. Curvas circulares simples	34
2.2.2. Curvas de transición	36
2.2.2.1 Clotoide o espiral de transición	36
2.2.2.2 Curva circular simple con espirales de transición	36
2.2.2.3 Longitud mínima de la espiral de transición	38
2.2.2.4. Curvatura	39
2.2.3. Distancia de visibilidad en curvas de alineamiento horizontal.	39
2.3. Alineamiento vertical	40
2.3.1. Tangentes	40
2.3.2. Pendiente	40
2.3.3. Curvas verticales	42
2.4. Sección transversal	44
2.4.1. Corona	45
2.4.2. Subcorona	51
2.4.2.1. Terracerías	51
2.4.2.2. Pavimentos	52
2.4.3. Cunetas y contracunetas	53
2.4.3.1. Cunetas	53
2.4.3.2 Contracunetas	53

2.4.4. Taludes	54
2.4.5. Partes complementarias	54
2.4.5.1. Guarniciones y bordillos	54
2.4.5.2. Banquetas	55
2.4.5.3. Fajas separadoras y camellones	55
2.4.6. Derecho de vía.	55
2.5. Subrasante.	56
2.5.1. subrasante económica.	56
2.5.2. Elementos que definen a la subrasante.	57
2.6. Movimiento de terracerías.	60
2.6.1. Secciones de construcción.	60

Capítulo 3.- Estudios técnicos en relación al camino.

3.1. Estudio topográfico	63
3.1.1. Reconocimiento topográfico	63
3.1.2. Trazo preliminar	64
3.1.3. Línea Definitiva	66
3.1.4. Referencias	66
3.1.5. Nivelación	68
3.2. Estudios geotécnicos	70
3.2.1. Principales tipos de suelos.	71
3.2.2. Aspectos generales de muestreo	73
3.2.2.1. Técnica de exploración	73
3.2.2.2. Número de pozos	73

3.2.2.3. Ubicación de los pozos	74
3.2.2.4. Profundidad de los pozos	74
3.2.2.5. Muestreo	74
3.2.3. Identificación	75
3.2.4. Ensayos de campo y laboratorio	76
3.2.4.1. Tipo de ensayos de laboratorio	76
3.2.4.2. Equipo a utilizar	76
3.2.4.3. Ejecución de los ensayos de laboratorio	77
3.2.4.4. Información requerida del sub-suelo	77
3.3. Pruebas de laboratorio para caminos	78
3.3.1. Contenido de humedad	78
3.3.2. Prueba del peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.)	78
3.3.3. Granulometría	78
3.3.3.1. Métodos para encontrar la granulometría	79
3.3.3.2. Curva granulométrica.	79
3.3.4. Límites de consistencia	80
3.3.5. Compactación proctor modificado	81
3.3.6. Relación de Soporte de California (CBR)	82
3.3.7. Pruebas de equivalencia de las arenas	84
3.3.8. Prueba porter	85
3.3.9. Parámetros de comportamiento	86
3.3.10. Clasificación unificada de suelos (SUCS)	86

Capítulo 4.- Estudios hidrológicos e hidráulicos.

4.1. Estudios hidrológicos	88
4.2. Ciclo hidrológico	89
4.3. Generalidades de una cuenca	90
4.3.1. Cuenca	90
4.3.1.1. Parteaguas	91
4.3.2. Características fisiográficas de la cuenca	91
4.4. Precipitación	92
4.5. Escurrimiento	93
4.6. Métodos para cálculo de avenidas máximas	93
4.6.1. Método racional	94
4.7. Método de sección y pendiente	96
4.8. Drenaje en las carreteras	97
4.8.1. Tipos de drenaje	98
4.8.1.1. Drenaje Superficial	98
4.8.1.1.1. Cunetas	99
4.8.1.1.2. Contracunetas	100
4.8.1.1.3. Bordillos	101
4.8.1.1.4. Lavaderos	102
4.8.1.1.5. Bombeo	104
4.8.1.1.6. Alcantarilla	104
4.8.1.1.6.1. Consideraciones generales de diseño	105
4.8.1.1.6.2. Elección del tipo de alcantarilla	105
4.8.1.1.7. Tipos de alcantarillas	107

4.8.1.1.8. Vados	109
4.8.1.1.9. Puente vado	109
4.8.1.2. Drenaje subterráneo	110
4.8.1.2.1. Zanjas	110
4.8.1.2.2. Drenes ciegos	110

Capítulo 5.- Pavimentación.

5.1. Aspectos fundamentales para la pavimentación	112
5.2. Factores para considerar en el proyecto	113
5.3. Materiales empleados para los pavimentos.	116
5.4. Tipos de pavimentos	117
5.5. Elementos que componen a los pavimentos flexibles y sus funciones.	118
5.6. Métodos de diseño de pavimentos flexibles.	119
5.7. Metodología general del diseño mecanístico-empírico	119
5.8. Método de la AASHTO para pavimentos flexibles	123
5.9. Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM	134
5.9.1. Diseño por deformación permanente en la rodada	140
5.9.2. Revisión de diseño por efectos de fatiga	141

Capítulo 6.- Resumen de macro y micro localización.

6.1. Macrolocalización	143
6.1.1. Geología y Fisiografía	144
6.1.1.1. Relieve	145
6.1.1.2. Orografía	145

6.1.4. Hidrología	146
6.1.5. Temperatura	147
6.1.6. Precipitación pluvial	147
6.1.7. Clima	148
6.2. Microlocalización	149
6.2.1. Extensión	150
6.2.2. Orografía	150
6.2.3. Hidrología	150
6.2.4. Climatología	150
6.2.5. Principales ecosistemas	150
6.2.6. Recursos Naturales	151
6.2.7. Características y Uso del Suelo	151
6.2.8. Geología	151
6.2.9. Fisiografía	152
6.2.10. Demografía	152
6.3. Resumen ejecutivo	153
6.4. Informe fotográfico	156
6.4.1. Estado físico actual	156
6.5. Estudios del camino	159
6.5.1. Trazado del eje de proyecto	159
6.5.2. Referencias del trazo	159
6.5.3. Propuesta de la nivelación diferencial y seccionamiento del terreno	159
6.8. Trabajos de campo y Laboratorio	160
6.8.1. Pruebas de laboratorio	160

Capítulo 7.- Metodología.

7.1. Método empleado	161
7.2. Enfoque de la investigación	162
7.2.1 Alcance	162
7.3. Diseño de la investigación	163
7.4. Instrumentos para la recopilación de datos	164
7.5. Descripción del procedimiento de investigación	165

Capítulo 8.- Análisis e interpretación de resultados.

8.1. Diseño de la investigación	167
8.2. Proyecto geométrico	167
8.2.1. Calculo de curvas horizontales	167
8.2.2. Calculo de curvas verticales	175
8.2.3. Calculo de sobre-elevaciones y sobre-anchos	180
8.3. Estudio hidráulico	186
8.4 Estudio de pavimento	188
8.4.1. Valor relativo de soporte critico (Vrs)	188
8.4.2. Análisis del transito	189
8.4.2.1. Tasa de crecimiento	191
8.5. Diseño del pavimento por el método del instituto de ingeniera de la UNAM	191

Conclusiones	204
------------------------	-----

Bibliografía	207
------------------------	-----

Anexos

RESUMEN

De acuerdo con la investigación de esta tesis, el primer capítulo trata de la definición de los elementos principales que se requieren conocer para la planeación de un camino. En la segunda parte de esta tesis se conocen los elementos necesarios para el proyecto geométrico de una carretera como son: alineamiento horizontal y vertical, curvas horizontales y verticales. El siguiente capítulo habla de la topografía, el trazo, nivelación y principalmente la geotecnia que debe de llevar un camino, esto se refiere a las pruebas de laboratorio necesarias para conocer el tipo de suelo y sus propiedades y a su vez proponer una estructura de pavimentación. El cuarto capítulo habla un poco de lo que es la hidrología en las vías terrestres, es necesario conocer los gastos hidráulicos en las cuencas que tienen aportación sobre la carretera para poder diseñar las obras de drenaje. En el quinto se habla un poco de lo que es la pavimentación abordando dos procedimientos de diseño, el método de la ASSHTO y el MÉTODO DEL INSTITUTO DE INGENIERÍA DE LA UNAM. El capítulo sexto habla sobre la región en la que se propone tal alternativa, condiciones climáticas, fauna relieves etc. En el penúltimo capítulo se aborda el tema de la metodología el enfoque de la investigación así como su alcance y los instrumentos que se utilizaron para la recopilación de datos. Finalmente se aborda el último capítulo en el cual se plasman los cálculos necesarios para la alternativa del proyecto que tiene por nombre *“ALTERNATIVA DE PROYECTO GEOMÉTRICO, OBRA DE DRENAJE Y PAVIMENTACIÓN DE LA CARRETERA CIUDAD HIDALGO-CASAS PINTAS, DEL KM 3+000 AL 5+000”*.

INTRODUCCIÓN

Antecedentes.

La ejecución de la infraestructura carretera es tan antigua como el hombre mismo, esto se debe a la necesidad de cubrir la demanda de este servicio para el desarrollo social, y económico de una población. Existen desde la antigüedad civilizaciones como el medio oriente, Egipto, China y los imperios Inca y Maya, que dejaron evidencia de interés respecto a redes de caminos. Los romanos quizás sean unas de las primeras civilizaciones en establecer una red caminera para la conquista y el dominio de su era.

Con la invención de la rueda apareció la carreta, la cual era jalada por personas o por bestias debido a esta aparición fue necesario adecuar los caminos para que se desarrollara una circulación más rápida y cómoda. Fue por necesidad que los primeros caminos fueron de tipo peatonal, cuando las vías peatonales se formaban sobre terrenos blandos o de lodazales, las tribus trataban de mejorar las condiciones de estas veredas, a éstas se les colocaban piedras en el trayecto para evitar resbalarse o quedar sumergidos en el lodazal.

Los caminos para carretas se trataban de construir de tal forma que las ruedas no se incrustaran o atascaran en el terreno, estos caminos se revestían con piedra machacada y en algunos casos hasta empedrados. En la civilización de los romanos los pavimentos consistían de grandes bloques de roca con un buen acomodo apoyados directamente en el terreno natural, los Incas y Mayas construyeron sus

caminos aglutinando los bloques de piedra con una mezcla de morteros naturales y afinando la superficie de rodamiento.

Los caminos en la época virreinal, fueron sometidos por un puñado de españoles con la ayuda de principalmente pueblos indígenas, con quistados antes por los aztecas y con quienes los invasores tejieron alianzas. Tenochtitlán fue la ciudad más importante, esta ciudad fue la más grande que cualquier ciudad europea.

A partir de su caída, debida en parte a las incidencias de las epidemias que diezmaron a la población siguieron sus empresas de conquista. Abrieron caminos terrestres de herradura para alcanzar con sus caballos las diferentes poblaciones indígenas por someter a la corona. En principio, se contentaron con ensanchar los caminos prehispánicos para que pasaran los caballos. El interés de la época colonial por otras mercancías modifico sustancialmente la red de los intercambios obligados a los conquistadores abrir nuevos caminos hacia regiones donde era difícil el acceso, para descubrir y explotar recursos naturales que dieron origen a nuevas vías de comunicación. Gracias por el interés de los españoles con los metales preciosos se configuro una red vial a partir de los reales mineros con el fin de beneficiar, y explotar el producto de las minas. Como parte de este proceso surgieron otras actividades indispensables para abastecer las explotaciones mineras, como la agricultura, la ganadería, ciertas manufacturas y comercio.

El uso de los pavimentos fue evolucionando por Tressaguet que gracias a su idea se inició la construcción de pavimentos por capas ordenadas según el tamaño de las partículas de los agregados. Más tarde sus ideas fueron recogidas y

mejoradas en Inglaterra por Telford y McAdam, quienes construyeron pavimentos por secciones que en algunos casos siguen aun en uso.

Al paso del tiempo han evolucionado de una forma creciente las vías de comunicación, hoy en día es de gran importancia dentro de un país una infraestructura carretera ya que es el principal medio de comunicación terrestre que se tiene para el desarrollo y crecimiento del país. Este medio de transporte terrestre desde el punto de vista económico constituye unas de las formas del capital que se tienen de gran importancia ya que extienden el cambio, activan la circulación e influyen de un modo eficaz en la producción y en el consumo de la riqueza.

En conjunto las vías de comunicación terrestre refuerzan la comunicación regional y enlazan zonas de producción agrícola y ganadera con el resto del país, además que estas se desempeñan como un gran promotor de la generación de empleos ya sea de conservación, construcción o reconstrucción de las carreteras.

En la Universidad Don Vasco A.C. existen varias tesis relacionadas con este tema, algunas de diseño y otras de revisión de las cuales se tomaran algunas referencias de ellas que son:

Alternativa de proyecto geométrico del camino Churumuco 4 caminos, tramo Zicuirán Churumuco km 42+340 al km 45+420 en el estado de Michoacán, el autor es Oscar Francisco Martínez, publicada en el año 2008, el objetivo general fue realizar modificaciones geométricas del camino Zicuiran- Churumuco, Mich. La conclusión a la que se llegó fue que se realizaron modificaciones geométricas en el proyecto para tener una mejor seguridad en el camino, en base a los estudios realizados se define el tipo de camino, para poder hacer la clasificación y las especificaciones del camino según SCT.

Revisión de obras de drenaje del tramo 0+100 al 2+000 de la carretera Ziracuaretiro – La Cienega, el autor es Gabriel Chávez Álvarez, publicada en el año 2008, el objetivo general fue h Hacer una revisión visual y analizar las condiciones actuales que presenta el tramo en estudio para diseñar las obras de drenaje necesarias y compararlas con las obras existentes en dicho tramo y así evaluar la situación en la que se encuentra. Al concluir esta tesis se dio como resultado la revisión de las obras de drenaje existentes que no son suficientes ni adecuadas para las condiciones tanto climatológicas como topográficas del tramo en estudio, ya que el análisis y el diseño de las obras necesarias, estas superan tanto en número como en dimensiones a las actualmente existentes. Por lo tanto por lo que respecta a la evaluación, el sistema de drenaje existente es considerado insuficiente.

Planteamiento del problema.

La construcción de una mala obra de infraestructura carretera repercute en un problema de vialidad y transporte para una localidad, así como de seguridad para los usuarios de dicha carretera, ya que una obra carretera trae consigo grandes beneficios para el desarrollo y comunicación de una región o zona.

Así mismo, una vía de comunicación en mal estado trae consigo grandes problemas a futuro, tanto económicos como de vialidad, provocando daños en la estructura, un desequilibrio ecológico y social respectivamente, por tal motivo nos surge la siguiente duda ¿estará en buenas condiciones de transporte la carretera Ciudad Hidalgo – Casas Pintas, del km 3+000 al km 5+000 del municipio de Ciudad Hidalgo, Michoacán?

En esta investigación se pretende dar una alternativa de diseño geométrico, hidráulico y pavimentación que cumpla con las condiciones requeridas de acuerdo a

las normas de la SCT para el buen funcionamiento del tramo carretero ya mencionado anteriormente.

Objetivos.

En la presente investigación se plantea como propósito general el siguiente:

Objetivo general:

Dar una alternativa de modernización a la carretera ubicada en el municipio de Ciudad Hidalgo del tramo carretero Ciudad Hidalgo – Casas Pintas, del km 3+000 al km 5+000.

De igual manera se citan los objetivos particulares que han de lograrse con este trabajo.

Objetivos particulares:

- a) Definir una vía terrestre.
- b) Determinar las curvas horizontales y verticales en base a las normas de la Secretaría de Comunicaciones y Transporte.
- c) Determinar de acuerdo al tránsito vehicular el tipo de carretera para el tramo de Ciudad Hidalgo – Casas Pintas.
- d) Conocer las pruebas de laboratorio que determinarán las características fundamentales del suelo así propiciar argumentos necesarios para la obra.

e) Señalar los estudios geotécnicos que aplican en un camino.

f) Determinar una opción de pavimentación flexible respecto espesor y cómo se conforman sus capas.

g) Definir un drenaje superficial y subterráneo.

h) Determinar los tipos de drenaje longitudinal y horizontal óptimos para el buen funcionamiento de esta obra.

Pregunta de investigación.

Con el presente estudio se dará respuesta a las siguientes interrogantes para así poder llegar a una buena alternativa de la obra carretera del tramo Ciudad Hidalgo – Casas Pintas:

¿La alternativa del proyecto geométrico, obras de drenaje y pavimentación del camino será la adecuada de acuerdo a las necesidades requeridas por el tránsito vehicular?

De ahí se subdividen las siguientes interrogantes:

1. ¿Cómo beneficiaría a la población este proyecto?
2. ¿Cuáles son los elementos que se necesitan para la alternativa del proyecto geométrico?
3. ¿Qué obras de drenaje serán las apropiadas para el camino?
4. ¿Cuál será el tipo de camino de acuerdo al tránsito registrado?
5. ¿Cuáles son los aspectos a considerar en la alternativa para la pavimentación del camino?

Justificación.

La presente investigación es de gran importancia porque de aquí depende la adecuada funcionalidad del proyecto y que cumpla con las normas que rige las SCT.

En este estudio se pretende minimizar el tiempo y el costo, así como la mayor eficiencia, adecuando como mejor sea conveniente para que los usuarios tengan un medio de transporte más rápido y seguro siendo así las poblaciones más cercanas las que tengan un mayor beneficio.

Otros beneficiados con este estudio son los que elaboraron la investigación porque de aquí podrán resolver sus dudas que tenían al respecto sobre tal tema, así como los estudiantes de la Universidad Don Vasco, ya que contarán con otra opción de consulta para futuros proyectos de obras de infraestructura carretera como también en la licenciatura de la ingeniería civil por el hecho de aportar información a dicho tema.

La alternativa de proyecto garantizará minimizar los requerimientos financieros, con un máximo beneficio social y económico así como dar la mejor solución al problema que se presente.

También maximizará un gran porcentaje el crecimiento, desarrollo rural y urbano a las poblaciones beneficiadas del camino, dando también seguridad y comodidad.

Marco de referencia.

El proyecto se ubica al noroeste del Estado, en las coordenadas 19°42' de latitud norte y 100°33' de longitud oeste, a una altura de 2,040 metros sobre el nivel del mar, su superficie es de 1,063.06 Km² y representa un 1.78 por ciento del total del estado.

El clima de la región es templado con lluvias en verano, y al norte con lluvias todo el año. Tiene una precipitación pluvial anual de 1,810.2 milímetros y temperaturas que oscilan de 4.1 a 18.4° centígrados.

Su fauna la conforman: coyote, zorro, zorrillo, tlacuache, liebre, conejo, mapache, armadillo, pato y torcaz.

El uso del suelo de esta región es primordialmente forestal y en menor proporción ganadera y agrícola.

El municipio tiene una superficie forestal maderable ocupada por pinos, encinos y oyamel, existen yacimientos minerales no metálicos de caliza, arcilla, arcilla caolinítica, caolín, sub-bentonita, azufre y tierra fuller.

La demografía del municipio en el año 2000 contaba con 106,421 habitantes y de acuerdo al II Censo de Población y Vivienda del 2005 el municipio cuenta con un total de 110,311 habitantes lo cual representa una tasa de crecimiento del 2.7 por ciento anual.

CAPÍTULO 1

ELEMENTOS DETERMINANTES DE UNA VÍA DE COMUNICACIÓN.

En este capítulo se definen los elementos necesarios para el estudio de los caminos y que son de gran importancia para su construcción, ya que de ninguna manera deberán de echarse de menos, por el contrario será inadmisible llevar a cabo tal proyecto, también aquí se definirán y describirán algunos de los conceptos necesarios para la ejecución y desarrollo de tal proyecto como son: qué es un camino, la clasificación técnica, selección de la ruta, capacidad, etc.

1.1. Definición de camino o carretera.

De acuerdo con Crespo Villalaz (2010), algunas personas denominan caminos a las vías rurales y el nombre de carreteras se les da a caminos de características modernas debido al gran tránsito de vehículos que pasa por él.

Una carretera se puede definir como una faja sobre la superficie terrestre que tenga las principales propiedades o condiciones como pueden ser el ancho, alineamiento y la pendiente adecuada para permitir el rodamiento adecuado de los vehículos para los cuales ha sido construida. Por el contrario, cabe mencionar que las carreteras son obras cuya idea, proyecto y ejecución, obedecen a la necesidad de cubrir la demanda de este servicio para el desarrollo social, comercial y de producción, además de lograr la composición de un distrito, región o del país en su conjunto para mejorar el nivel de vida de las poblaciones.

1.1.1. Clasificación técnica oficial de los caminos.

Esta clasificación permitirá identificar la categoría física del camino, la cual toma en cuenta los volúmenes de tránsito al final de la vida económica del camino que suele ser aproximadamente de 20 años, como lo mencionó Crespo Villalaz, (2010). En México la Secretaría de Comunicaciones y Transportes clasifica las carreteras de la siguiente manera:

1. Tipo Especial: para un tránsito promedio diario anual de 3000 vehículos, equivalentes a un tránsito horario máximo anual de 360 vehículos, estos caminos requieren de un estudio especial.

2. Tipo A. para un tránsito promedio anual de 1500 a 3000, equivalente a un tránsito horario máximo anual de 180 a 360 vehículos.

3. Tipo B. para un tránsito promedio diario anual de 500 a 1500, equivalentes a un tránsito horario máximo anual de 60 a 180 vehículos.

4. Tipo C. para un tránsito promedio diario anual de 50 a 500 vehículos, equivalentes a un tránsito horario máximo anual de 6 a 60 vehículos.

1.1.2. Cargas y vehículos de proyecto.

Según Crespo Villalaz (2010), las cargas que se consideran para el cálculo de la estructura del pavimento son principalmente: cargas muertas, cargas vivas, de impacto, presión de viento, esfuerzos longitudinales de temperatura, entre otras.

Las dimensiones y cargas límite de los vehículos de proyecto dependen del tipo de camino que se solicite, esto es de acuerdo a la clasificación oficial ya mencionada anteriormente.

A continuación se muestra la figura 1.1 de la clasificación de vehículos de proyecto de la SCT.

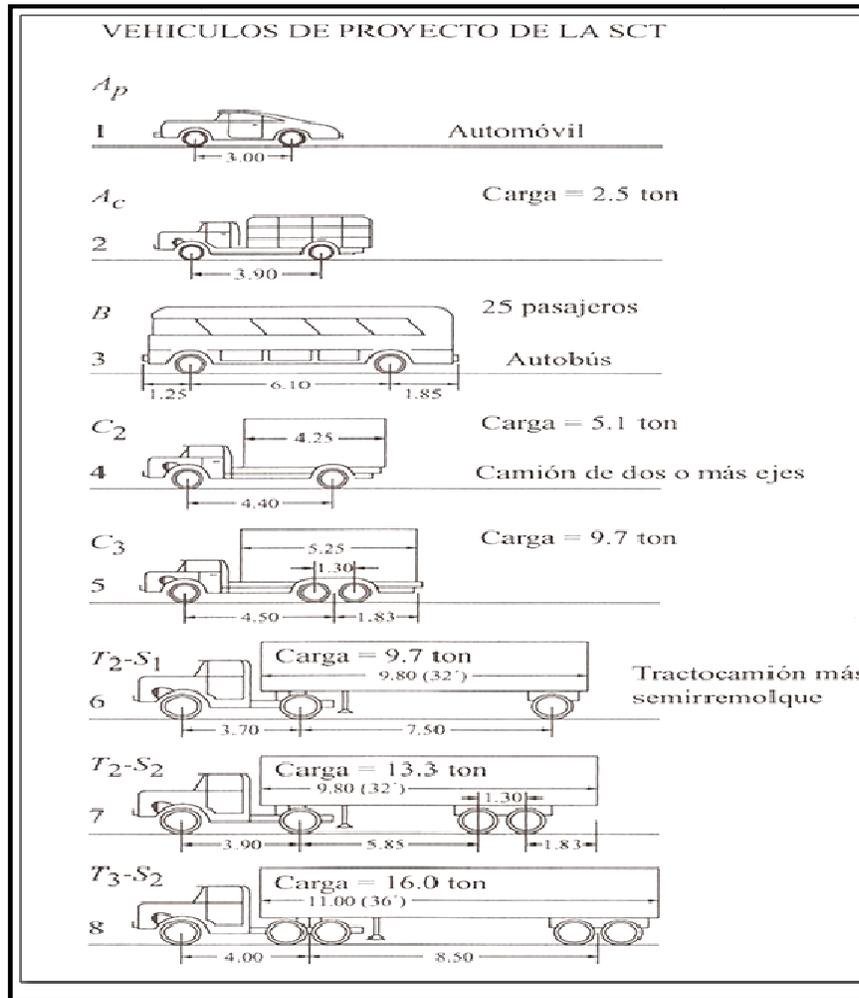


Figura 1.1: Clasificación de los vehículos según la SCT.

Fuente: Crespo Villalaz, (2010).

1.2. Selección de la ruta.

Para la selección de la ruta según el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, (1991), será necesario tener una serie de trabajos que básicamente comprendan un estudio comparativo de todas las rutas posibles y que puedan ser convenientes, esto es necesario para seleccionar la ruta que mejor se adapte a las necesidades del proyecto y a las mayores ventajas sociales y económicas.

Se puede decir por ruta a una franja de terreno de ancho variable entre dos puntos obligados, por la cual será necesario hacer la localización de un camino. Mientras más precisión se tenga en los estudios, el ancho de la franja será más reducido. Los puntos obligados de una ruta son los sitios por los que necesariamente deberá pasar el camino, ya sea por razones técnicas, económicas, políticas y sociales; como pueden ser por el cruce a poblaciones y áreas productivas. La selección de ruta abarca varias actividades como acopio de datos examinar analizar los mismos hasta los levantamientos aéreos y terrestres necesarios para determinar los costos y ventajas de las diferentes rutas que se elegirán y así elegir la más conveniente, esta es una de las fases más importantes en la etapa de una carretera.

Se explicarán en siete incisos la sección de ruta:

a) Acopios de datos.

La topografía, la geología, la hidrología, el drenaje y el uso de la tierra tienen un efecto determinante en la localización y en la elección del tipo de carretera. El proyectista debe contar con cartas geográficas y geológicas sobre las cuales se puedan identificar las diferentes rutas. Para zonas del proyecto se recaudará la

información ya existente así como las que se puedan obtener sobre las que ya han sido planeadas. Otros de los puntos importantes son los datos de tránsito que para carreteras ya existentes se hace por medios de aforos.

b) Estudios sobre cartas geográficas.

Las principales cartas geográficas que se disponen en la actualidad en la República Mexicana son las elaboradas por las Secretaría de la Defensa Nacional a escala 1:250 000, 1:100 000, 1:50 000, 1:25 000, éstas cubren parcialmente en territorio nacional. Al estudiar estas cartas el ingeniero puede formarse una idea las características más importantes que identifique en la región sobre todo en la topografía e hidrología. Éste se puede auxiliar con las cartas geológicas existentes, se dibujan sobre ellas las rutas que más se adecuen para el objetivo de comunicación deseado.

Se deberá tener un cuidado especial en aquellos puntos obligados, primarios o principales que guíen el alineamiento de la ruta. Para esto la ruta se divide en tramos y a su vez en subtramos estos se asignan con los nombres de los pueblos extremos de esta manera es posible señalar o elegir sobre la carta varias rutas posibles para su estudio, al designar la rutas posibles deben considerarse los desniveles entre puntos obligados así como las distancias entre ellos para elegir la pendiente que rige.

c) Reconocimientos.

Como lo menciona el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, (1991), Los reconocimientos del terreno se efectúan ya teniendo las rutas posibles

en los mapas geográficos y estos pueden ser: aéreos, terrestres o una combinación de ambos.

1. Reconocimiento aéreo.

Este reconocimiento es el que ofrece una mayor ventaja sobre los demás ya que permite observar grandes áreas de terreno; se efectúa con avionetas y con helicóptero, de estos se distinguen tres reconocimientos.

El primer reconocimiento se efectúa con avioneta y tiene por objeto determinar las rutas que se consideren más viables y fijar el área fotografiándola a escala 1:50 000. Este trabajo se realiza con técnicos especialistas en planeación, localización y geotecnia, antes de iniciar el recorrido los especialistas deberán estudiar las cartas geográficas y geológicas con el fin que durante el recorrido puedan identificar con mayor facilidad las diferentes rutas y así observando la concordancia con las cartas, así cada especialista verifica si la zona concuerda con lo que se ha supuesto previamente.

El segundo reconocimiento se hace después de interpretar las fotografías y tiene por objeto comprobar en el terreno lo estudiado en las fotografías; este reconocimiento generalmente se hace con helicóptero, ya que permite a los ingenieros descender en los lugares donde vean que es conveniente y así recabar la información necesaria. En este reconocimiento el especialista comprobará lo estudiado en las fotografías y comparará con el terreno así dando una opinión eficaz a lo estudiado.

Al finalizar este recorrido se deberá delimitar la zona que deberá cubrirse con fotografías a escala 1:25 000, ya realizado este trabajo es necesario estudiar estas fotografías en un aparato llamado Balplex el cual proyecta las fotografías sobre una mesa hasta una escala cinco veces mayor, sobre esa proyección los ingenieros estudian varias líneas obteniendo los perfiles y estimando los volúmenes de materiales la cual les permite un presupuesto aproximado que puede ser factor importante en la elección de la ruta.

El tercer reconocimiento puede ser aéreo o terrestre, y es un refinamiento del estudio que sea hecho en el Balplex y se realiza a lo largo de la poligonal en estudio llama trazo preliminar, aquí entra el estudio del ingeniero topohidráulico de cruces de ríos con el ingeniero localizador.

2. Reconocimiento terrestre.

Este reconocimiento es menos efectivo que el aéreo, ya que el ingeniero localizador no puede abarcar grandes áreas, por lo tanto, tiene que estudiar por partes su línea. Después de haber estudiado en las cartas geográficas las diferentes rutas se selecciona la más conveniente. Los especialistas hacen sus estudios previos ayudándose de sus herramientas y equipo para después dar un informe sobre los datos recabados. Es muy importante contar con un guía que conozcan la región para así estar seguros que el reconocimiento sea en los mismos lugares que sean establecido previamente en las cartas, durante el reconocimiento se deberán dejar señales sobre ruta para que después se identifique con facilidad.

3. Reconocimiento combinado.

Es una combinación de los dos anteriores y se lleva a cabo en las siguientes condiciones:

Cuando no se disponga de fotografías aéreas de la zona se tendrá que recorrer la zona en helicóptero y al volar sobre las posibles rutas se tendrán que definir las mejores opciones de la ruta desde el aire, marcándolas en las cartas geográficas disponibles para posteriormente recorrerlas por tierra siguiendo el procedimiento terrestre.

Cuando en éste se cuenta con fotografías aéreas de la zona se podrá hacer una fotointerpretación de las fotografías marcando en ellas las diferentes rutas posibles y marcando las que ofrezcan mejor opción. Si la línea se sale de las fotografías se utilizarán cartas geográficas para completar lo faltante, con el fin que al realizar el reconocimiento terrestre se tenga una idea más clara de ruta.

d) Fotografías aéreas.

Hoy en día no es fácil encontrar especialistas en estudios de carreteras capaces de resolver problemas complejos sobre el cambio del uso del suelo, del aumento de vehículos y de su velocidad así como la necesidad de adaptar el camino a la topografía.

Para el estudio de una ruta los especialistas deben trabajar en equipo para compartir y resolver los problemas que se acontezcan. Para la toma de fotografías se utilizan cámaras de eje vertical estas se restringen a ciertas horas del año y a ciertas

horas del día esto se debe por la presencia de nubes y la proyección de sombras, se recomienda que las nubes no cubran más del 5% del área fotografiada y que el ángulo de altura del sol respecto al horizontal este entre 45 y 75 grados dependiendo de la fotografía del terreno.

e) Fotointerpretación.

Tomando en cuenta al Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, (1991), éste consiste en hacer o examinar las imágenes fotografiadas con el objeto de identificar rasgos que se sean de interés y determinar su significado, para lo cual se consideraran los siguientes conceptos:

Características físicas de fotografías. El tono y la textura juegan un papel importante; cada unos de los tonos entre el blanco y negro manifiestan la textura haciendo más fácil la identificación de los objetos un ejemplo es en la cima de una montaña se ven tonos más claros que en las barrancas.

Características de rasgos y objetos. Dependiendo de la forma, el tamaño y las sombras de las imágenes se distinguen los objetos que son naturales o actividad humana, por ejemplo las imágenes de la actividad humana tiene forma regular y las naturales son formas irregulares.

Características topográficas y geomorfológicas. Los aspectos del relieve indican la dureza de los materiales, los materiales resistentes se forman con altos taludes acentuados, los materiales blandos forman llanuras o lomeríos en cada resistencia de material le corresponde un talud, el drenaje esta dado por la pendiente y por la erosión de los materiales así como por las fracturas y las fallas.

Características de la vegetación. Dependiendo el tipo de vegetación es el tipo de suelo y éste a su vez puede indicar aspectos como la composición del suelo, la impermeabilidad, la humedad y su pendiente así mismo debe de diferenciarse la vegetación natural a la de los cultivos.

1. Procedimiento de trabajo.

En este procedimiento los especialistas estudian con el auxilio del estereoscopio las diferentes rutas, los aspectos geotécnicos, el drenaje y aspectos socioeconómicos con el fin de conocer las ventajas y las desventajas de cada ruta.

El especialista en localización determina la mejor alternativa de trazo desde el punto de vista topográfico. Se pretenderá determinar la escala de las fotografías con la mayor aproximación para ello se comparara con puntos ya establecidos o con una estructura ya establecida, en caso de no existir se tomara como correcta en escala de la fotos.

Las aerofotos del punto de vista geológico proporcionan información sobre la morfología del terreno, fallas, zonas de deslizamientos y los materiales de construcción. Unas de mejores guías de la geología del terreno son el drenaje y tipo de suelo, se puede distinguir las características geológicas e hidrográficas con símbolos o colores.

Desde el punto socioeconómico la interpretación de fotografías tiene por objeto estimar las necesidades de transporte para los diferentes núcleos de población así como el desarrollo económico actual y futura.

f) Control terrestre.

Es importante tener en el terreno puntos ya establecidos que permitan determinar la elevación y posición del terreno que nos puedan relacionar cuantitativamente con las fotografías aéreas. A la obtención de cartas o planos del terreno por medio de fotografías aéreas y de control terrestre se llama restitución, además con la ayuda de equipos de estereoscópicos se pueden elaborar los planos para el estudio de las carreteras.

g) Evaluación de rutas posibles.

La evaluación de la mejor ruta posible entre varias es problema cuya solución depende el futuro de la carretera. Al comparar todas las rutas posibles es necesario determinar la mejor ya que esta depende del costo aproximado de construcción operación y conservación de la misma, es conveniente comparar los costos con los beneficios que vayan a derivar así mismo se tomaran en cuenta los perjuicios.

1.3. Capacidad.

De acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, (1991), la capacidad máxima de un camino se puede definir como el máximo número de vehículos que transitan sobre él, durante un periodo determinado.

1.3.1. Condiciones prevalecientes.

Éstas dependen de un cierto número de condiciones: de la composición del tránsito, los alineamientos vertical y horizontal, el número y ancho de los carriles.

Éstas condiciones se dividen en dos grupos: 1) Las condiciones y características físicas del camino. 2) Las condiciones que dependen del tránsito en el camino. Las condiciones prevalecientes de un camino no pueden ser cambiadas a menos que se haga una reconstrucción del camino, en cambio las condiciones prevalecientes del tránsito pueden ser cambiadas de hora en hora o durante periodo del día. Además de las condiciones del tránsito y del camino están las ambientales, como son, el frío, el calor, la lluvia, la nieve, los vientos, la niebla, etc.

1.3.2. Nivel de servicio.

Como indica el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, (1991), el nivel de servicio es un término que indica un número de condiciones de operaciones diferentes que pueden ocurrir en un camino cuando aloja varios volúmenes de tránsito. Es una medida cualitativa de los cuales se pueden mencionar: la velocidad, el tiempo de recorrido, las interrupciones del tránsito, la libertad de manejo y la comodidad. Un determinado camino proporciona un amplio rango de niveles de servicio, estos niveles de servicios están en función de volumen y composición del tránsito así como las velocidades que se podrán alcanzar en ese camino.

1.3.3. Volumen de servicio.

Es el máximo número de vehículos que pueden transitar por un camino durante un periodo determinado bajo condiciones de operación que corresponden a un nivel de servicio. El volumen de servicio máximo corresponde a la capacidad y así mismo los volúmenes de servicio, se expresaran como volúmenes horarios.

1.3.4. Caminos según la configuración del terreno.

Los caminos se pueden construir en tres tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso, que representan tipos de características geométricas diferentes que se refieren a la pendiente y las secciones transversales.

a) Camino en terreno plano. Es cualquier combinación de alineamientos horizontal y vertical, que permite a los vehículos pesados mantener una velocidad semejante a los de los vehículos livianos.

b) Camino en terreno lomerío. Se refiere a cualquier combinación de alineamientos vertical y horizontal, en este los vehículos pesados con respecto a los livianos reducen su velocidad en algunos tramos.

c) Caminos en terreno montañoso. Es cualquier combinación de alineamientos horizontal y vertical en donde los vehículos pesados con respecto a los livianos operan con velocidades muy bajas a distancias considerables y a intervalos frecuentes.

1.3.5. Objeto de la capacidad.

El objeto de capacidad o del volumen de servicio sirve principalmente para dos propósitos:

a) Para el proyecto de una obra nueva. Para el análisis de capacidad de nivel de servicio de camino influye directamente en las características de la geometría, que estas dependen del volumen horario que se consideren en su análisis.

Características geométricas suministrarán un volumen de servicio que corresponda a nivel de servicio establecido que al menos sea igual al volumen horario de proyecto.

b) Para las condiciones de operación de un camino existente. El análisis comparativo entre el volumen del tránsito que circula por un camino existente y el volumen de servicio del mismo de acuerdo con las características geométricas y del tránsito, permite determinar el nivel de servicio a que está operando y la fecha probable a que quedara saturado.

1.3.6. Factores relativos al camino.

Según el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, (1991), son todos aquellos elementos físicos propios del diseño geométrico que pueden tener influencia directa o indirectamente en la capacidad y volumen de servicio, los cuales se describirán a continuación:

a) Ancho de carril. Los carriles menores que 3.65 m tienen menor capacidad de circulación, que los carriles de esa dimensión que se consideran ideales.

b) Obstáculos laterales. Estos obstáculos pueden ser: muros, postes, arboles, señales, vehículos estacionados, que se encuentren a menos de 1.80 m de una orilla del carril reduciendo el ancho efectivo. En cambio los obstáculos con una altura igual o menor de 1.20 m, por ejemplo las guarniciones no tendrán influencia sobre el ancho del carril.

c) Combinación del ancho del carril y la distancia a obstáculos laterales.

En este punto se pueden considerar los efectos combinados de ambos elementos de

ancho del carril y la distancia a obstáculos laterales para diferentes tipos de caminos, que se muestran en las siguientes tablas 1.1, 1.2 y 1.3. Cuando los obstáculos laterales están en ambos lados pero en distinta distancia se promedian los factores.

Distancia desde la orilla del carril al obstaculo (en m).	Factor de ajuste, W , por ancho de carril y distancia a obstaculos laterales.							
	Obstaculos a un lado de un sentido de circulacion.				Obstaculos a ambos lados de un sentido de circulacion.			
	Carriles en metros.				Carriles en metros.			
	3.65	3.35	3.05	2.75	3.65	3.35	3.05	2.75
Carretera dividida de 4 carriles.								
1.80	1.00	0.97	0.91	0.81	1.00	0.97	0.91	0.81
1.20	0.99	0.96	0.90	0.80	0.98	0.95	0.89	0.79
0.60	0.97	0.94	0.88	0.79	0.94	0.91	0.86	0.76
0.00	0.90	0.87	0.82	0.73	0.81	0.79	0.74	0.66
Carretera dividida de 6 y 8 carriles.								
1.80	1.00	0.96	0.89	0.78	1.00	0.96	0.89	0.78
1.20	0.99	0.95	0.88	0.77	0.98	0.94	0.87	0.77
0.60	0.97	0.93	0.87	0.76	0.96	0.92	0.85	0.75
0.00	0.94	0.91	0.85	0.74	0.91	0.87	0.81	0.70

TABLA 1.1. EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN AUTOPISTAS Y VIAS RAPIDAS CON CIRCULACION CONTINUA.

Fuente: Manual de Proyecto Geometrico. SCT. (1991).

DISTANCIA DESDE LA ORILLA DEL CARRIL AL OBSTACULO (m):	FACTOR DE AJUSTE; W POR ANCHO DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES.							
	Obstaculos en el lado derecho (Considerando que circula transito en sentido contrario del lado)				Obstaculo a ambos lados de un sentido de circulacion.			
	CARRILES EN METROS				CARRILES EN METROS			
	3.65	3.35	3.05	2.75	3.65	3.35	3.05	2.75
Carretera no dividida de 4 carriles.								
1.8	1	0.95	0.89	0.77	N.A	N.A	N.A	N.A
1.2	0.98	0.94	0.88	0.76	N.A	N.A	N.A	N.A
0.6	0.95	0.92	0.86	0.75	0.94	0.91	0.86	N.A
0	0.88	0.85	0.8	0.7	0.81	0.79	0.74	0.66
Carretera no dividida de 6 y 8 carriles.								
1.8	1	0.95	0.89	0.77	N.A	N.A	N.A	N.A
1.2	0.99	0.94	0.88	0.76	N.A	N.A	N.A	N.A
0.6	0.97	0.93	0.86	0.75	0.96	0.92	0.85	N.A
0	0.94	0.9	0.83	0.72	0.91	0.87	0.81	0.7

a.- Los mismos valores de ajustes para la capacidad y niveles de servicio.

b.- Su uso es apropiado solo cuando el camino no dividido este separado temporalmente en dos calzadas, por obstaculos tales como barreras centrales, elementos estructurales de pasos. a desnivel, mas cercanos de lo que estaria el transito opuesto.

c.- N.A.- no aplicable, use el ajuste para obstaculos en el lado derecho.

TABLA 1.2. EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES CON CIRCULACION CONTINUA.

Fuente: Manual de Proyecto Geometrico. SCT. (1991).

DISTANCIA DESDE LA ORILLA DEL CARRIL AL OBSTACULO (m).	FACTORES DE AJUSTES WL Y Wc POR ANCHO DE CARRIL Y DISTANCIA A OBSTACULOS LATERALES.															
	OBSTACULOS EN UN SOLO LADO								OBSTACULOS EN AMBOS LADOS							
	CARRILES EN METROS															
	3.65		3.35		3.05		2.75		3.65		3.35		3.05		2.75	
	NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL		NIVEL	
	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E	B	E
1.80	1.00	1.00	0.86	0.88	0.77	0.81	0.70	0.76	1.00	1.00	0.86	0.88	0.77	0.81	0.70	0.76
1.20	0.96	0.97	0.83	0.85	0.74	0.79	0.68	0.74	0.92	0.94	0.76	0.83	0.71	0.76	0.65	0.71
0.60	0.91	0.93	0.78	0.81	0.70	0.75	0.64	0.70	0.81	0.85	0.70	0.75	0.63	0.69	0.57	0.65
0.00	0.85	0.88	0.73	0.77	0.66	0.71	0.60	0.66	0.70	0.76	0.60	0.67	0.54	0.62	0.49	0.58

a.- Factores de ajuste, Wc para el nivel "E" (Capacidad) y WL para nivel "B"; interpolar para otros niveles.
b.- Incluye el efecto del tránsito en sentido contrario.
c.- Capacidad.

TABLA 1.3 . EFECTO COMBINADO DEL ANCHO DE CARRIL Y DE LA DISTANCIA A OSBTACULOS LATERALES SOBRE LA CAPACIDAD Y LOS VOLUMENES DE SERVICIO EN CARRTERAS DE DOS CARRILES BAJO CONDICIONES DE CIRCULACION CONTINUA.
Fuente: Manual de Proyecto Geométrico. SCT. (1991).

d) Acotamientos. Los acotamientos no pueden ser más importantes que cuando se usen los carriles a su máxima capacidad. Estos servirán como refugio de vehículos averiados que transitan por el camino, especialmente si los carriles son menores de 3.65 m, esto es con el objeto de mantener la capacidad de la carretera, estos acotamientos se podrán incrementar a 1.20 m incrementando así a los carriles adyacentes el ancho efectivo a 0.30 m.

e) Carriles auxiliares. Los carriles adicionales a la calzada con una longitud corta que éstos se usan para estacionamiento momentáneo, vueltas, entrecruzamientos, separación de vehículos y algunos fines auxiliares en el tránsito de la vía principal.

f) Estado de la superficie de rodamiento. El deterioro de la superficie de rodamiento afecta considerablemente el nivel de servicio en la velocidad, comodidad, economía y seguridad. En las carretas con altos volúmenes de tránsito no se pueden obtener velocidades de 50 km/h. hoy en día no se han podido determinar factores que reflejen el efecto del estado de la superficie de rodamiento, cuando esta se

encuentre deteriorada, la velocidad de operación es menor a aquella que se obtendría con una superficie en buen estado, de lo contrario se sacrificará la seguridad por una velocidad alta.

g) Alineamiento. Los alineamientos horizontal y vertical de una carreta afectan la capacidad y el nivel de servicio. Estos alineamientos están diseñados en base a la velocidad de proyecto, esta velocidad puede variar debido a la configuración del terreno por lo que se utiliza un promedio ponderado. Las restricciones en el alineamiento vertical de distancias de visibilidad de rebase se consideran a través del porcentaje de la longitud del tramo del camino, que se tiene distancias de visibilidad menores que la distancia de visibilidad de rebase, para el cual se consideran de 500 m, estas restricciones son específicamente para caminos de dos carriles.

h) Pendientes. Las pendientes afectan a los volúmenes de servicio de la siguiente manera:

- 1) Reduciendo la distancia de visibilidad de rebase en caminos de dos carriles.
- 2) Reduciendo y aumentando las distancias de frenado en pendientes ascendentes o descendentes.
- 3) Disminuyendo la velocidad de los vehículos pesados en pendientes ascendentes, obstruyendo a los vehículos ligeros.

I) Carriles auxiliares de ascenso. Una de las más importantes diferencias del vehículo pesado y de un vehículo ligero es la velocidad, esto ocurre en

pendientes fuertes. En estos tramos el número de vehículos ligeros equivalentes por vehículo pesado es superior para terrenos planos. Los carriles auxiliares de ascenso son una solución para mejorar la capacidad y el nivel de servicio en pendientes fuertes. Un carril auxiliar suele proporcionar ascenso al tránsito, de lo contrario si no se contara con el carril adicional el nivel de servicio sería bajo.

1.3.7. Capacidad y niveles de servicio en carreteras de dos carriles

Como lo señala el Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras, SCT, (1991), existen dos características importantes que diferencian la operación del tránsito en los caminos de dos carriles y en los caminos de carriles múltiples: 1) La distribución del tránsito por sentidos en caminos de dos carriles, no tiene efecto en las condiciones de operación a cualquier nivel de volúmenes de tránsito. La capacidad y los volúmenes de servicio en los caminos de dos carriles se expresan en total de vehículos por hora, independientemente de la distribución del tránsito por sentidos. 2) Las maniobras de rebase normalmente se efectúan en el carril ocupando tránsito en sentido contrario. En estos caminos la geometría del camino y el volumen de tránsito, marcan la distancia de visibilidad de rebase que este efecto es más importante que en las carreteras de carriles múltiples. Para este tipo de camino debe considerarse una distancia de visibilidad de rebase mínima de 500 m.

En caminos de primer orden con circulación continua, un incremento de volumen reduce las velocidades de operación aun en volúmenes bajos y aun en que la distancia de visibilidad de rebase sea suficiente en el tramo. En caminos de

segundo orden se tienen características propias del proyecto esto se debe a que no se aceptan altas velocidades a un en volúmenes bajos.

Los caminos de dos carriles se ven afectados por las restricciones en la distancia de visibilidad de rebase, de la siguiente manera:

A volúmenes iguales, un camino con distancia de visibilidad de rebase restringida, proporciona velocidades de operación menores a uno sin restricciones en el rebase; así mismo para mantener las mismas velocidades de operación cuando el rebase este restringido, se requerirán volúmenes de servicio más bajos.

Para un nivel de servicio dado de dos carriles las velocidades de operación se mantienen dentro del rango de correspondiente a ese nivel, por lo tanto el efecto de las restricciones en la distancia de visibilidad de rebase, es el de disminuir el volumen de servicio. Cuando el alineamiento es menor al ideal, se producirá el mismo efecto, además se eliminaran o se restringirán las posibilidades de alcanzar niveles de servicios más altos.

En la tabla 1.4 se indican las escalas de características de operación, para los diferentes niveles de servicio en caminos de dos carriles. Esta tabla incluye las velocidades de operación y las relaciones de volumen-capacidad, también incluye los valores de la influencia que sobre las relaciones v/c tiene la distancia de visibilidad de rebase y las velocidades de proyecto menores de 110 km/h.

NIVEL DE SERVICIO	CONDICIONES DEL FLUJO DE TRANSITO		DISTANCIA DE VISIBILIDAD DE REBASE >500 mts (%)	VOLUMEN DE SERVICIO-CAPACIDAD					VOLUMEN DE SERVICIO MAXIMO BAJO CONDICIONES IDEALES, INCLUYENDO VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 Km/h (total de vehiculos ligeros por hora en ambos direcciones)	
	DESCRIPCION	VELOCIDAD DE OPERACIÓN (Km/h)		VALOR LIMITE PARA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DE 110 Km/h	VALOR PARA UNA VELOCIDAD DE PROYECTO PONDERADA DEL					
					95 Km/h	80 Km/h	70 Km/h	65 Km/h		55 Km/h
A	FLUJO LIBRE	≥ 95	≤	—	—	—	—	—	400	
			100	0.2	—	—	—	—		
			80	0.18	—	—	—	—		
			60	0.15	—	—	—	—		
			40	0.12	—	—	—	—		
			0	0.04	—	—	—	—		
B	FLUJO ESTABLE (Velocidad superior del rango)	≥ 80	≤	≤	—	—	—	—	900	
			100	0.45	0.4	—	—	—		
			80	0.42	0.35	—	—	—		
			60	0.38	0.3	—	—	—		
			40	0.34	0.24	—	—	—		
			0	0.30	0.18	—	—	—		
C	FLUJO ESTABLE	≥ 65	≤	≤	≤	≤	≤	—	1400	
			100	0.7	0.66	0.56	0.51	—		
			80	0.68	0.61	0.53	0.46	—		
			60	0.65	0.56	0.47	0.41	—		
			40	0.62	0.51	0.38	0.32	—		
			0	0.54	0.38	0.18	0.12	—		
D	FLUJO PROXIMO AL INESTABLE	≥ 55	≤	≤	≤	≤	≤	—	1700	
			100	0.85	0.83	0.75	0.67	0.58		
			80	0.84	0.81	0.72	0.62	0.55		
			60	0.83	0.79	0.69	0.57	0.51		
			40	0.82	0.76	0.66	0.52	0.45		
			0	0.81	0.71	0.61	0.44	0.35		
E	FLUJO INESTABLE	≥ 50	NO ES APLICABLE	≤ 1.00					2000	
F	FLUJO FORZADO	≥ 50	NO ES APLICABLE	NO SIGNIFICATIVO					MUY VARIABLE (Desde cero hasta la capacidad)	

- a - La velocidad de operación y la relación v/c son medidas independientes del nivel de servicio; ambos límites deben satisfacerse en cualquier determinación del nivel.
- b - Cuando el espacio este en blanco, la velocidad de operación requerida para este nivel es inalcanzable aun a volúmenes bajos.
- c - Capacidad.
- d - Aproximadamente.
- e - No hay rebase.
- f - La relación volumen de demanda-capacidad puede exceder el valor de 1.00 indicando que hay sobrecarga.

TABLA 1.4. NIVELES DE SERVICIO Y VOLUMENES DE SERVICIO MAXIMOS PARA CARRETERAS DE DOS CARRILES BAJO CONDICIONES DE FLUJO CONTINUO.

Fuente: Manual de Proyecto Geometrico. SCT. (1991).

1.3.8. Elementos críticos que requieren considerarse.

A continuación se describirán los elementos críticos que se requieren para considerarse en la capacidad de un camino.

a) Ancho de carril y distancia a obstáculos laterales. En la tabla 1.3 se darán los factores de ajuste que tienen las restricciones combinando el ancho de carril y los obstáculos laterales, sobre caminos de dos carriles.

b) Camiones autobuses y pendientes. En la tabla 1.5 se darán las equivalencias de vehículos ligeros por camión aplicables a los caminos de dos carriles con tramos largos para varias condiciones de terreno y de nivel de servicio; así como también las equivalencias de vehículos ligeros por un autobús, las cuales se utilizaran cuando el porcentaje de vehículos sea importante.

EQUIVALENTE	NIVEL DE SERVICIO	EQUIVALENTE, PARA:		
		TERRENO PLANO	TERRENO EN LOMERIO	TERRENO MONTAÑOSO
E _T , PARA CAMIONES	A	3	4	7
	B y C	2.5	5	10
	D y E	2	5	12
E _B PARA AUTOBUSES	Todos los Niveles	2	4	6

a.- Hacer consideraciones por separado no es requisito en la mayoría de los problemas; aplíquese únicamente cuando el volumen de autobuses sea significativo.

TABLA 1.5. VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES POR CAMION Y POR AUTOBUSES EN TRAMOS LARGOS DE CARRETERAS DE DOS CARRILES.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico. SCT. (1991).

Para convertir volúmenes de demanda mixtos a vehículos ligeros equivalentes por hora, los factores de ajuste se obtienen con la tabla 1.6 con los equivalentes de la tabla 1.5 y el porcentaje de camiones o autobuses en la corriente de tránsito.

VEHICULOS LIGEROS EQUIVALENTES; ET 0.5	FACTOR DE AJUSTE POR CAMIONES TC ò TL (BC ò BL POR AUTOBUSES).																													
	PORCENTAJE DE CAMIONES, PT (ò DE AUTOBUSES,PB) DE:																													
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20	25	30	35	40	45	50	55	60							
2	0.99	0.98	0.97	0.96	0.95	0.94	0.93	0.93	0.92	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.65	0.66							
3	0.98	0.96	0.94	0.93	0.91	0.89	0.88	0.86	0.85	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.48	0.45							
4	0.97	0.94	0.92	0.89	0.87	0.85	0.83	0.81	0.79	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.40	0.38	0.36							
5	0.96	0.93	0.89	0.86	0.83	0.81	0.78	0.76	0.74	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.56	0.50	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	0.31	0.29							
6	0.95	0.91	0.87	0.83	0.80	0.77	0.74	0.71	0.69	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.44	0.40	0.36	0.33	0.31	0.29	0.27	0.25							
7	0.94	0.89	0.85	0.81	0.77	0.74	0.70	0.68	0.65	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	0.23	0.22							
8	0.93	0.88	0.83	0.78	0.74	0.70	0.67	0.64	0.61	0.57	0.54	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.21	0.19							
9	0.93	0.86	0.81	0.76	0.71	0.68	0.64	0.61	0.58	0.55	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.33	0.29	0.26	0.24	0.22	0.20	0.19	0.17							
10	0.92	0.85	0.79	0.74	0.69	0.65	0.61	0.58	0.55	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.31	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.17	0.16							
11	0.91	0.83	0.77	0.71	0.67	0.63	0.59	0.56	0.53	0.50	0.45	0.42	0.38	0.36	0.33	0.29	0.25	0.22	0.20	0.18	0.17	0.15	0.14							
12	0.90	0.82	0.75	0.69	0.65	0.60	0.57	0.53	0.50	0.48	0.43	0.39	0.36	0.34	0.31	0.27	0.23	0.21	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13							
13	0.89	0.81	0.74	0.58	0.63	0.58	0.54	0.51	0.48	0.45	0.41	0.37	0.34	0.32	0.29	0.25	0.23	0.19	0.17	0.16	0.14	0.13	0.12							
14	0.88	0.79	0.72	0.66	0.61	0.56	0.52	0.49	0.46	0.43	0.39	0.35	0.32	0.30	0.28	0.24	0.22	0.18	0.16	0.15	0.13	0.10	0.11							
15	0.88	0.78	0.70	0.64	0.59	0.54	0.51	0.47	0.44	0.42	0.37	0.34	0.31	0.28	0.26	0.22	0.20	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.11							
16	0.87	0.77	0.69	0.63	0.57	0.53	0.49	0.45	0.43	0.40	0.36	0.32	0.29	0.27	0.25	0.21	0.19	0.16	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10							
17	0.86	0.76	0.68	0.61	0.56	0.51	0.47	0.44	0.41	0.38	0.34	0.31	0.28	0.26	0.24	0.20	0.18	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09							
18	0.85	0.75	0.66	0.60	0.54	0.49	0.46	0.42	0.40	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.19	0.17	0.14	0.13	0.12	0.11	0.10	0.09							
19	0.85	0.74	0.65	0.58	0.53	0.48	0.44	0.41	0.38	0.36	0.32	0.28	0.26	0.24	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08							
20	0.84	0.72	0.64	0.57	0.51	0.47	0.42	0.40	0.37	0.34	0.30	0.27	0.25	0.23	0.21	0.17	0.15	0.13	0.12	0.10	0.10	0.09	0.08							
22	0.83	0.70	0.61	0.54	0.49	0.44	0.40	0.37	0.35	0.32	0.28	0.25	0.23	0.21	0.19	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07							
24	0.81	0.68	0.59	0.52	0.47	0.42	0.38	0.35	0.33	0.30	0.27	0.24	0.21	0.19	0.18	0.15	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07							
26	0.80	0.67	0.57	0.50	0.44	0.40	0.36	0.33	0.31	0.29	0.25	0.21	0.20	0.18	0.17	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.07	0.06							
28	0.79	0.65	0.55	0.48	0.43	0.38	0.35	0.32	0.29	0.27	0.24	0.20	0.19	0.17	0.16	0.13	0.11	0.10	0.08	0.06	0.07	0.06	0.06							
30	0.78	0.63	0.53	0.46	0.41	0.36	0.33	0.30	0.28	0.26	0.22	0.17	0.18	0.16	0.15	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05							
35	0.75	0.60	0.49	0.42	0.37	0.33	0.30	0.27	0.25	0.23	0.20	0.15	0.16	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.05							
40	0.72	0.56	0.46	0.39	0.34	0.30	0.27	0.24	0.22	0.20	0.18	0.14	0.14	0.12	0.11	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04							
45	0.69	0.53	0.43	0.36	0.31	0.27	0.25	0.22	0.20	0.19	0.16	0.13	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04							
50	0.67	0.51	0.40	0.34	0.29	0.25	0.23	0.20	0.18	0.17	0.15	0.12	0.11	0.10	0.09	0.08	0.06	0.06	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03							
55	0.65	0.48	0.38	0.32	0.27	0.24	0.21	0.19	0.17	0.16	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.05	0.05	0.04	0.04	0.04	0.03	0.03							
60	0.63	0.46	0.36	0.30	0.25	0.22	0.19	0.17	0.16	0.15	0.12	0.10	0.10	0.09	0.08	0.06	0.05	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03							
65	0.61	0.44	0.34	0.28	0.24	0.21	0.18	0.16	0.15	0.14	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03							
70	0.59	0.42	0.33	0.27	0.22	0.19	0.17	0.15	0.14	0.13	0.11	0.09	0.08	0.07	0.07	0.05	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.02							
75	0.57	0.40	0.31	0.25	0.21	0.18	0.16	0.14	0.13	0.12	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02							
80	0.56	0.39	0.30	0.24	0.20	0.17	0.15	0.14	0.12	0.11	0.10	0.08	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02							
90	0.53	0.36	0.27	0.22	0.18	0.16	0.14	0.12	0.11	0.10	0.09	0.07	0.07	0.06	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02							
100	0.50	0.34	0.25	0.20	0.17	0.14	0.13	0.11	0.10	0.09	0.08	0.07	0.06	0.06	0.05	0.04	0.03	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02							

a.- Calculados con la formula $100/(100-RT+ETRT)$, ò bien $100/(100-PB+EBPB)$. Aplíquese esta formula para otros porcentajes.

b.- Cuando la proporción de autobuses sea importante, úsese una equivalencia para camiones y otras para autobuses obteniendo factores de ajuste independientes.

TABLA 1.6. FACTORES DE AJUSTES POR CAMIONES Y AUTOBUSES EB AUTOPISTAS, CARRETERAS DE CARRILES MULTIPLES Y CARRETERAS DE DOS CARRILES.

Fuente: Manual de Proyecto Geometrico. SCT. (1991).

c) Enlaces. En los entronques de tipo de diamante se conectan caminos de dos carriles en los extremos de entrada y salida. Estos extremos funcionan del mismo modo que las intercepciones de calles debiendo analizarse como intercepciones simples. En caminos de dos carriles no pueden fijarse capacidades por carril, esto hará necesario ciertas consideraciones, tomando en cuenta la distribución del tránsito por sentidos.

d) Interrupciones en el tránsito. Las interrupciones de tránsito en un camino de dos carriles tiene un efecto negativo en la operación, y esto deberá tomarse en consideración para su análisis. Las interrupciones del tránsito debidas a paradas, descomposturas, accidentes y otras interrupciones semejantes tienen un efecto muy importante más que en caminos de carriles múltiples, debido a que existirá un bloqueo completo en uno de los carriles. El efecto de cualquiera de estas interrupciones que son de una breve duración y ocurrencia diaria están incluidos en el análisis del nivel de servicio. Se deberán considerar seriamente las consecuencias de un bloque total, al balacear las ventajas de un proyecto de dos carriles contra uno de cuatro, especialmente cuando la diferencia de ventajas es pequeña.

1.3.9. Determinación de la capacidad y los niveles de servicio.

La relación volumen de servicio de demanda-capacidad en caminos de dos carriles se relaciona con la velocidad de operación y nivel de servicio. Las representaciones graficas son útiles, sin embargo no es posible usar una solo grafica para el cálculo, si no se requiere de una serie de graficas en las que se combinan la

relación volumen de servicio o demanda capacidad con la velocidad de operación para diferentes velocidades de proyecto.

CAPÍTULO 2

ALINEAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL DE UN CAMINO.

En este capítulo se describen los elementos o partes que integran a un camino, los cuales son el alineamiento horizontal y el alineamiento vertical. Por su parte en el alineamiento horizontal se indicaran lo que son las curvas y tangentes, así como también los elementos y obras que lo componen. En tanto que el alineamiento vertical está conformado por lo que son las curvas verticales, la tangente y las pendientes, así como también se definirá lo que es una sección transversal y las partes que la componen.

2.1. Alineamiento Horizontal.

De acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), el alineamiento horizontal se define como la proyección sobre un plano horizontal del eje de la sub-corona de un camino. Las partes que integran a un alineamiento horizontal son las tangentes, las curvas circulares y las curvas de transición.

2.1.1. Tangentes.

Según el manual mencionado anteriormente, las tangentes son la proyección sobre un plano horizontal de las rectas que unen a las curvas. En la prolongación de dos tangentes consecutivas se presenta un punto de intersección que se le llamara PI y al ángulo que se forma por la prolongación de una tangente se le representa por Δ . Regularmente las tangentes son unidas por curvas, que su longitud está comprendida entre el fin de una curva y en el principio de la siguiente curva. A un

punto sobre una tangente se le llama a cualquier punto preciso del alineamiento horizontal donde se puede localizar en un terreno sobre una tangente a este punto se le representa por PST.

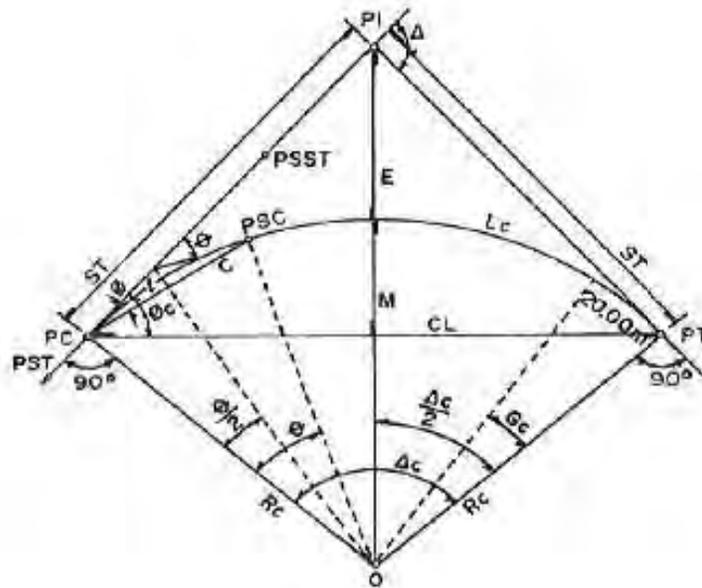
Por seguridad es necesario condicionar la longitud de una tangente muy prolongada, debido a que en tangentes largas al conductor le produce somnolencia y deslumbramientos por la noche, perdiendo la concentración y la atención del camino, por lo tanto será conveniente disminuir las tangentes prolongadas y en su lugar diseñar alineamientos ondulados con curvas de gran radio así provocando una mayor atención al camino del conductor. Una sobre elevación y ampliación de una curva debe estar definida por la mínima longitud de la tangente entre dos curvas consecutivas.

2.2. Curvas circulares.

Según el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), se les denominan curvas circulares a los arcos de círculo que forman a las proyecciones horizontales de una curva y que es utilizada para la unión de dos tangentes consecutivas; a la vez estas curvas pueden ser simples o compuestas dependiendo de uno o dos arcos sucesivos y de diferente radio cada uno de ellos.

2.2.1. Curvas circulares simples.

De acuerdo al manual indicado anteriormente se denomina curva simple cuando dos tangentes unen una sola curva circular. Dependiendo del cadenamiento las curvas pueden estar en dirección izquierda o derecha.



- PI Punto de intersección de la prolongación de las tangentes
 PC Punto en donde comienza la curva circular simple
 PT Punto en donde termina la curva circular simple
 PST Punto sobre tangente
 PSST Punto sobre subtangente
 PSC Punto sobre la curva circular
 O Centro de la curva circular
 Δ Angulo de deflexión de la tangente
 Δ_c Angulo central de la curva circular
 ϕ Angulo de deflexión a un PSC
 ϕ Angulo de una cuerda cualquiera
 ϕ_c Angulo de la cuerda larga
 G_c Grado de curvatura de la curva circular
 R_c Radio de la curva circular
 ST Subtangente
 E Externa
 M Ordenado media
 C Cuerda
 CL Cuerda larga
 l Longitud de un arco
 L_c Longitud de la curva circular

$$\begin{aligned}
 R_c &= \frac{114592}{G_c} \\
 ST &= R_c \operatorname{Tang} \frac{\Delta_c}{2} \\
 E &= R_c \left(\operatorname{Secante} \frac{\Delta_c}{2} - 1 \right) \\
 M &= R_c \operatorname{Sen} \operatorname{Ver} \frac{\Delta_c}{2} \\
 C &= 2 R_c \operatorname{Sen} \frac{\phi}{2} \\
 CL &= 2 R_c \operatorname{Sen} \frac{\Delta_c}{2} \\
 l &= \frac{20\phi}{G_c} \\
 L_c &= \frac{20\Delta_c}{G_c}
 \end{aligned}$$

Figura 2.1: Curva simple y elementos que la componen.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico SCT, (1991).

2.2.2. Curvas de transición.

Como lo dice el Manual de Proyecto Geométrico SCT, (1991), al pasar un vehículo de un tramo en tangente a uno en circular se requerirá hacerlo en forma gradual, debido al cambio de dirección , como a la sobreelevación y a la ampliación necesaria de dicha curva, para lograr este cambio gradual se requieren las curvas de transición.

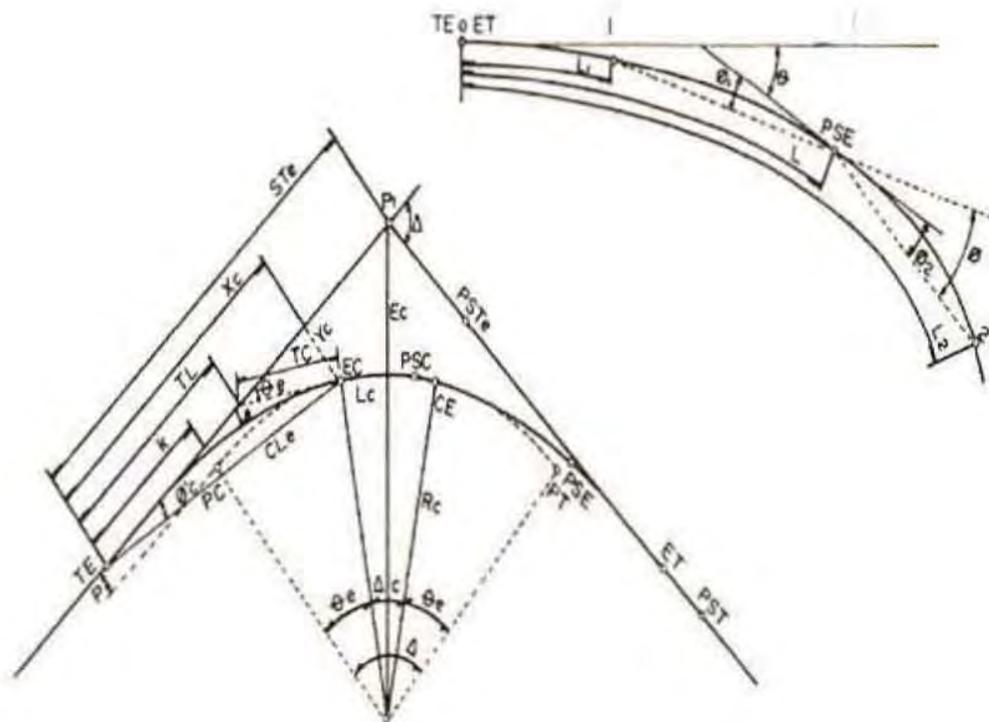
Se puede decir que una curva de transición es la que liga una tangente con una curva circular, y sus características principales son: su longitud se efectúa de manera continua, el cambio de la distancia, el cambio en el valor del radio de curvatura, desde infinito para la tangente hasta el que corresponda para la curva circular.

2.2.2.1. Clotoide o espiral de transición.

Es una curva donde los radios de curvatura de cada uno de los puntos están en razón inversa a los desarrollos de sus arcos, siendo K^2 la constante de proporcionalidad.

2.2.2.2. Curva circular simple con espirales de transición.

Este tipo de curva cuenta con una espiral de entrada, una curva circular simple y una curva de espiral de salida. Cuando tienen la misma longitud las curvas de espiral de entrada y las de salida, es simétrica y en caso contrario es asimétrica. En la figura siguiente se muestran los elementos de una curva simétrica.



PI Punto de intersección de las tangentes

TE Punto donde termina la tangente y empieza la espiral

EC Punto donde termina la espiral y empieza la curva circular

CE Punto donde termina la curva circular y empieza la espiral

ET Punto donde termina la espiral y empieza la tangente

PSC Punto cualquiera sobre la curva circular

PSE Punto cualquiera sobre la espiral

PST Punto cualquiera sobre las tangentes

PSTe Punto cualquiera sobre las subtangentes

Δ Angulo de deflexión de las tangentes

Δ_c Angulo central de la curva circular

θ_e Deflexión de la espiral en el EC o CE

θ Deflexión de la espiral en un PSE

$$\Delta_c = \Delta - 2\theta_e$$

$$\theta_e = GcLe/40$$

$$\theta = (L/Le)^2 \theta_e$$

$\theta'c$	Ángulo de la cuerda larga	$\theta'c = \theta e / 3$
θ_1	Ángulo entre la tang. a un PSE y una cuerda atrás	$\theta_1 = (L-L_1)(2L+L_1)\theta e / (3Le^2)$
θ_2	Ángulo entre la tang. a un PSE y una cuerda adelante	$\theta_2 = (L_2-L)(2L+L_2)\theta e / (3Le^2)$
θ	Ángulo entre dos cuerdas de la espiral	$\theta = (L_2-L_1)(L+L_1+L_2)\theta e / (3Le^2)$
Xc	Coordenadas del EC o del CE	$Xc = (Le/100)(100-0.00305\theta e^2)$
Yc		$Yc = (Le/100)(0.582\theta e-0.0000126\theta e^3)$
k	Coordenadas del PC o del PT (Desplazamiento)	$k = Xc - Rc \text{ sen } \theta e$
p		$p = Yc - Rc \text{ sen ver } \theta e$
STe	Subtangente	$STe = k + (Rc + p) \text{ tang } (\Delta / 2)$
TL	Tangente larga	$TL = Xc - Yc \text{ cot } \theta e$
TC	Tangente corta	$TC = Yc \text{ csc } \theta e$
CLe	Cuerda larga de la espiral	$CLe = (Xc^2 + Yc^2)^{1/2}$
Ec	Externa	$Ec = (Rc + p) \text{ sec } (\Delta / 2) - Rc$
Rc	Radio de la curva circular	$Rc = 1145.92 / Gc$
L	Longitud de la espiral a un PSE	
Le	Longitud de la espiral al EC o CE	$Le = 8VS(\text{minima})$
Lc	Longitud de la curva circular	$Lc = 20\Delta c / Gc$
LT	Longitud total de la curva circular con espirales	$LT = Le + 20\Delta / Gc$

Figura 2.2: Curva circular simple con espiral de transición y los elementos que la componen.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico SCT, (1991).

2.2.2.3. Longitud mínima de la espiral de transición.

Con respecto a lo que dice el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), se tiene por objetivo que la longitud mínima permitirá al vehículo un cambio continuo en la aceleración centrífuga, así como en la sobreelevación y en la ampliación. Este cambio está en función de la longitud de la espiral, tomando en cuenta que será más inesperado conforme es más corta la longitud.

2.2.2.4. Curvatura.

Como lo ha dicho Crespo Villalaz (2010), se le llama grado de curvatura al ángulo en el centro que corresponde a un desarrollo de arco de 20 m. En la siguiente tabla se muestran los grados de curvatura máximos recomendados, según el tipo de camino y su topografía.

GRADOS DE CURVATURA MÁXIMOS RECOMENDABLES				
TOPOGRAFÍA				
Tipo de camino	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa pero muy escarpada
Tipo Especial	2°30'	4°30'	6°	6°
Tipo A	8°	11°	16°30'	26°
Tipo B	11°	16°30'	26°	35°
Tipo C	16°30'	26°	47°	67°

Tabla 2.1: Grados de curvatura máximos recomendados.

Fuente: Crespo Villalaz, (2010).

2.2.3. Distancia de visibilidad en curvas de alineamiento horizontal.

Como lo dice el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), En las curvas horizontales que tengan obstáculos en la parte interior o queden alojadas en cortes y que limiten la distancia de visibilidad, se deberá tomar en cuenta que la distancia sea de cuando menos equivalente a la distancia de visibilidad de parada. Si la curvas no cumplen se tendrán que hacer ajustes para satisfacer lo necesario ya sea recortando o abatiendo el talud del lado interior de la curva, o modificar el grado de curvatura.

2.3. Alineamiento vertical.

Según el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), el alineamiento vertical es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo de un camino, nombrado también subrasante, siendo la línea que define la altura de un camino sobre o bajo del nivel del suelo.

2.3.1. Tangentes.

De acuerdo con el manual anteriormente citado se dice que una tangente es caracterizada por su longitud y por su pendiente que su vez se limitan por dos curvas sucesivas. Se representa con la letra T_a la longitud de una tangente que es la distancia horizontal medida entre el fin de la curva anterior y el principio de la siguiente.

Las intercepciones entre dos tangentes consecutivas se les denominan PIV, y a la diferencia algebraica entre las pendientes se les representa con la letra A .

2.3.2. Pendiente.

Según el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), a la relación entre el desnivel y la distancia entre dos puntos de una tangente se le denomina pendiente. Las pendientes bajas, obligan altos costos de construcción y las pendientes altas influyen en los costos de transportes se disminuye la velocidad e incrementa el gasto de combustible por Km y el desgaste del vehículo. La tabla que se mostrara en seguida muestra las pendientes según el tipo de camino y tipo de terreno.

a) **Pendiente gobernadora.** Es la pendiente media que teóricamente se puede dar a la línea subrasante para dominar un desnivel determinado, esto está en función de las características del tránsito y la configuración del terreno. Para cada caso la mejor pendiente gobernadora será aquella que permita obtener el menor costo de construcción, conservación y operación del camino. Esta servirá como norma para todas aquellas pendientes que se deban proyectar en el camino.

b) **Pendiente máxima.** Se caracteriza por ser la mayor pendiente permitida, ésta se determina por las características del volumen, la composición del tránsito previsto y la configuración del terreno.

La pendiente máxima se empleará cuando mejor sea conveniente desde el punto de vista económico, para salvar obstáculos como cantiles, fallas o zonas inestables, sin rebasar la longitud crítica.

c) **Pendiente mínima.** Esta principalmente fijada para permitir el drenaje. En terraplenes podrá ser nula; en cortes se recomienda un 0.5% mínimo, con esto se garantiza un buen funcionamiento de las cunetas. La tabla que se mostrará en seguida muestra las pendientes según el tipo de camino y tipo de terreno.

PENDIENTES MÁXIMAS RECOMENDABLES				
TOPOGRAFÍA				
Tipo de camino	Plana o con poco lomerío	Con lomerío fuerte	Montañosa, pero poco escarpada	Montañosa pero muy escarpada
Tipo Especial	4%	4.5%	5%	5%
Tipo A	4%	5%	5.5%	6%
Tipo B	4.5%	5.5%	6%	6.5%
Tipo C	5%	6%	6.5%	7%

Tabla 2.2: Pendiente máxima recomendada.

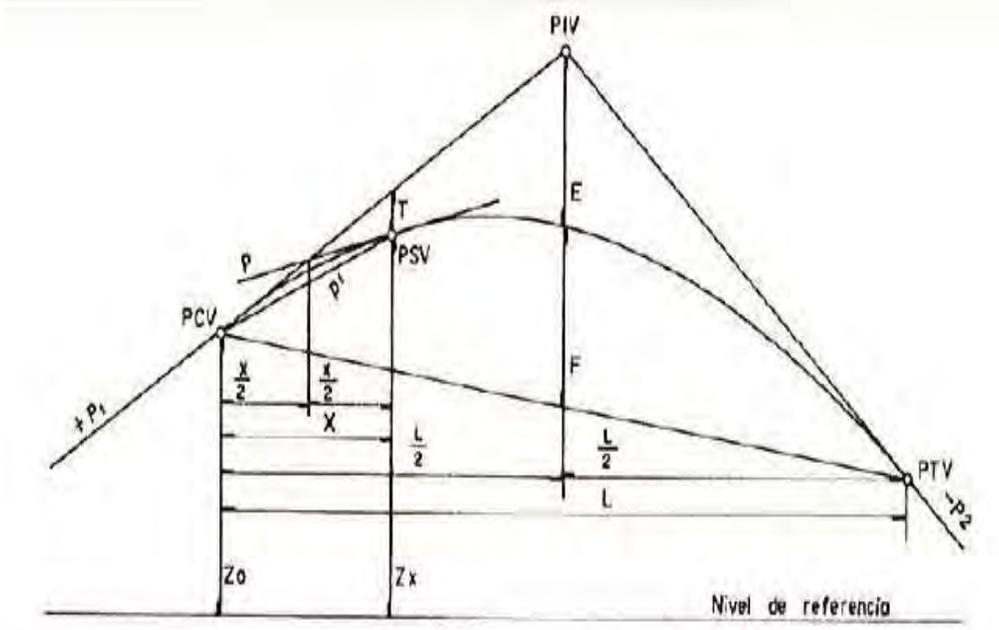
Fuente: Crespo Villalaz (2010).

d) Longitud crítica del alineamiento vertical. Es la longitud máxima en la que un camión cargado puede ascender sin reducir su velocidad mas allá de un límite establecido. Los elementos que intervienen en la longitud de la tangente es principalmente el vehículo del proyecto la configuración del terreno, volumen y la composición del tránsito.

2.3.3. Curvas verticales.

Tal como lo dice el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), las curvas verticales son las que enlazan dos tangentes consecutivas del alineamiento vertical, para que sea gradual la longitud de la pendiente de la tangente de entrada a la de salida, pudiendo presentarse dos casos: uno que vamos subiendo y el otro que vamos bajando, denominados cresta y el otro en el cual primero se baja y luego se sube se llama columpio. El punto común de una tangente y una curva vertical en el inicio de esta se representara como PCV y como PTV al punto común de la tangente y la curva al final de esta.

A continuación se muestran en la figura los elementos que componen a una curva vertical:



- PIV Punto de intersección de las tangentes verticales
 - PCV Punto en donde comienza la curva vertical
 - PTV Punto en donde termina la curva vertical
 - PSV Punto cualquiera sobre la curva vertical
-
- P₁ Pendiente de la tangente de entrada, en m/m
 - P₂ Pendiente de la tangente de salida, en m/m
 - A Diferencia algebraica de pendientes $A = P_1 - (-P_2)$
 - L Longitud de la curva vertical, en metros $K = L/A$
 - K Variación de longitud por unidad de pendiente (parámetro)
 - X Distancia del PCV a un PSV, en metros
 - P Pendiente en un PSV, en m/m $P = P_1 - A(X/L)$
 - P' Pendiente de una cuerda, en m/m $P' = 1/2(P_1 + P)$
 - E Externa, en metros $E = (AL)/8$
 - F Flecha, en metros $F = E$
 - T Desviación de un PSV a la tangente de entrada, en metros $T = 4E(X/L)^2$
 - Z₀ Elevación del PCV, en metros
 - Z_x Elevación de un PSV, en metros $Z_x = Z_0 + (P_1 - \frac{Ax}{2L})X$

Figura 2.3: Curva vertical y elementos que la componen.
 Fuente: Manual de Proyecto Geométrico SCT, (1991).

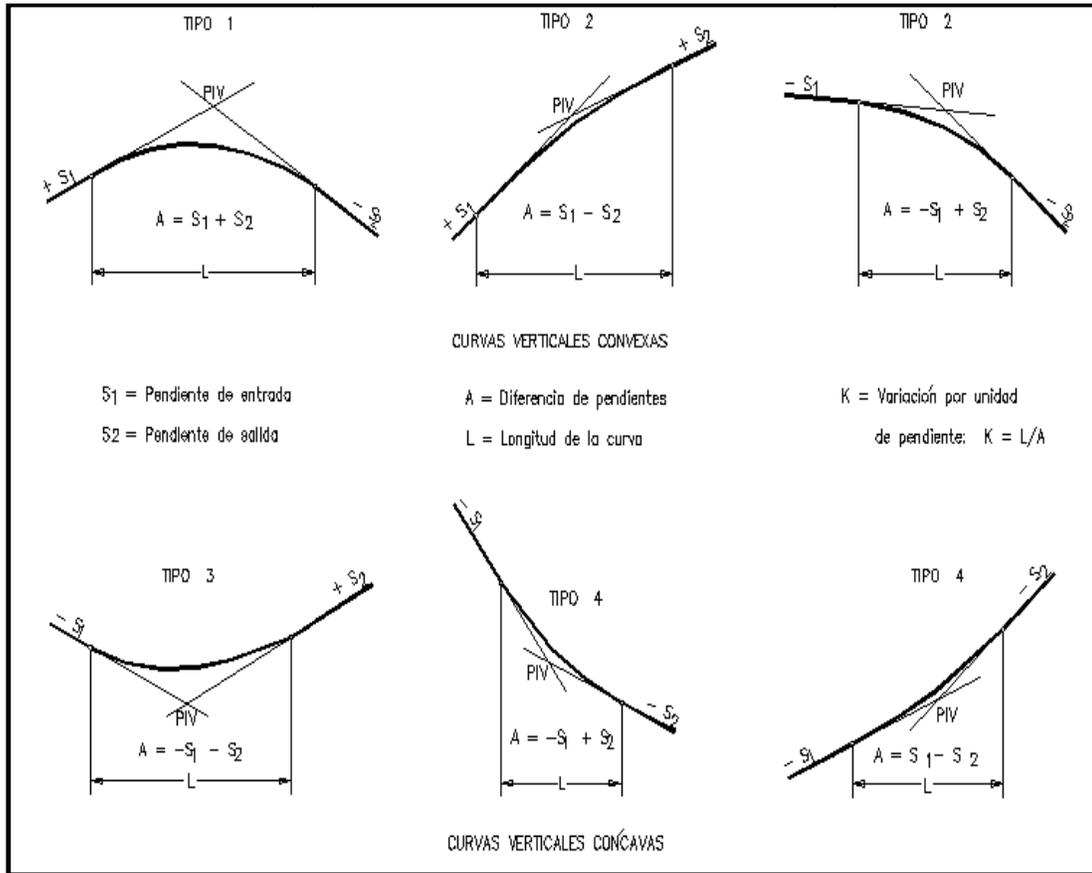


Figura 2.4: Tipos de curvas verticales.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico SCT, (1991).

2.4. Sección transversal.

Según el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), se le llama sección transversal a un corte vertical normal al alineamiento horizontal en un punto cualquiera. Esto permite conocer sus características como la disposición y dimensiones de los elementos que lo forman en un punto correspondiente a cada sección y su relación con el terreno natural. Los elementos que integran y definen la sección transversal son: corona y subcorona.

2.4.1. Corona.

Es la superficie del camino terminado y está comprendido entre los hombros del camino, y en secciones transversales está representada por una línea.

Los elementos que componen a la corona son la rasante, la pendiente transversal, la calzada y los acotamientos.

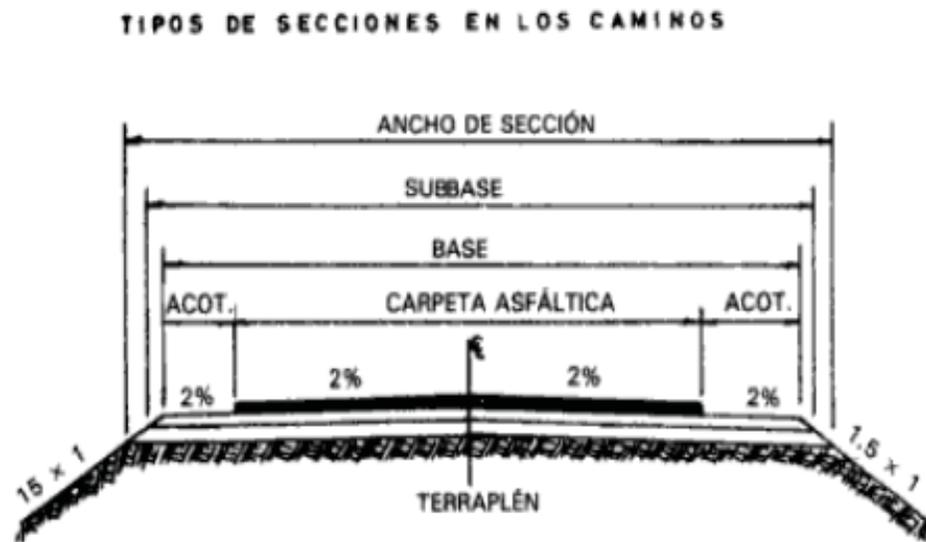


Figura 2.5: Sección transversal en terraplén sobre camino.

Fuente: Crespo Villalaz, Vías de Comunicación (2010).

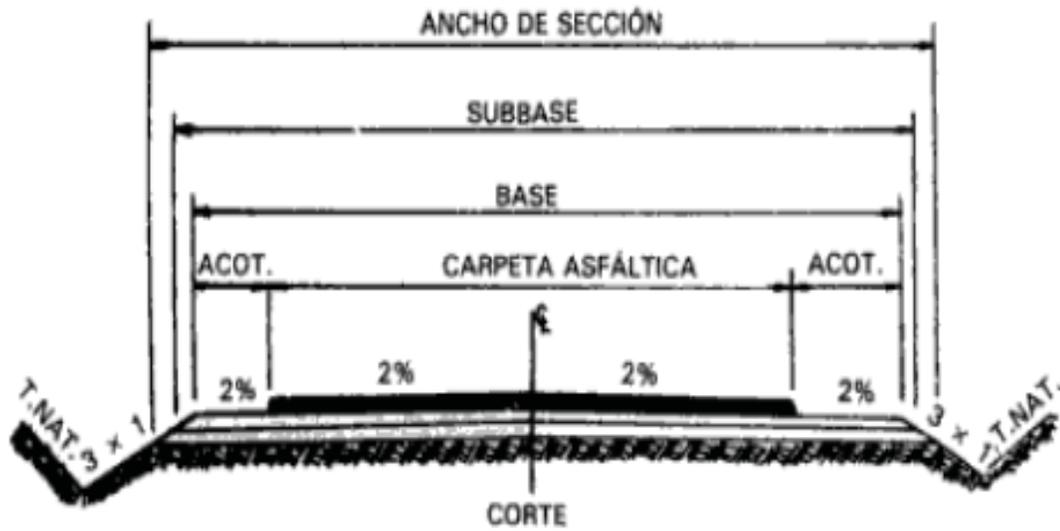


Figura 2.6: Sección transversal en corte sobre camino.

Fuente: Crespo Villalaz, Vías de Comunicación (2010).

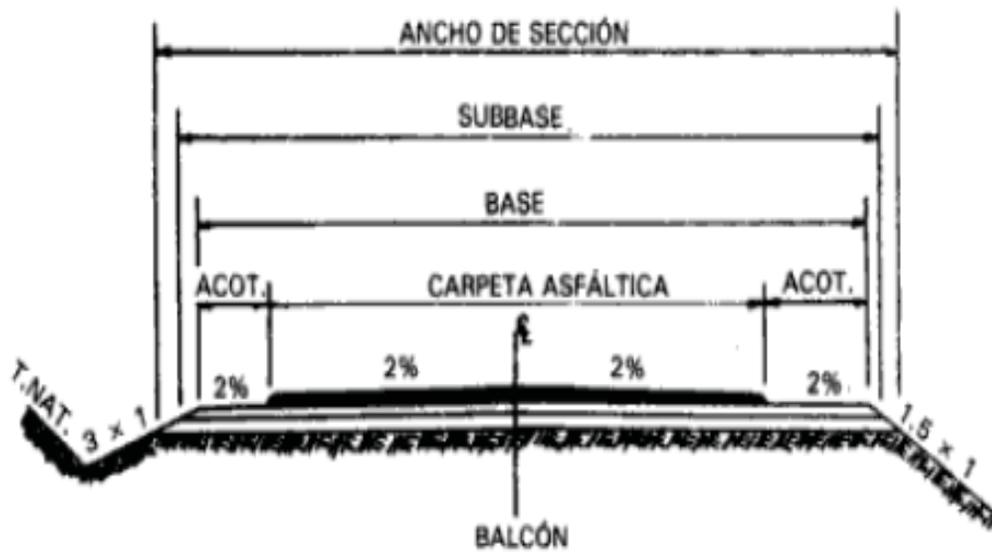


Figura 2.7: Sección transversal en balcón sobre camino.

Fuente: Crespo Villalaz, Vías de Comunicación (2010).

a) Rasante. Es la línea que se obtiene al proyectar sobre un plano vertical el eje de la corona del camino y está representado por un punto en secciones transversales.

b) Pendiente transversal. De acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), la pendiente transversal es el desnivel que se le da a la corona normal a su eje. Los elementos del alineamiento horizontal se componen por tres casos:

1. Bombeo. Es la pendiente transversal que se le da a la corona hacia uno y otro lado de la tangente del alineamiento horizontal, para evitar la acumulación de agua en la superficie del camino.

2. Sobreelevación. Es una pendiente que se le da a la corona hacia el centro de una curva para contrarrestar la fuerza centrífuga. A las curvas que tienen un grado de curvatura máximo corresponderá la sobreelevación máxima y a las curvas con grado menor al máximo se le proporciona una sobreelevación necesaria considerando el máximo coeficiente de fricción que se ajuste a la velocidad de proyecto. En esta tabla se muestran los valores que toma la sobreelevación dependiendo al grado de curvatura.

Grado de la curva	Sobreelevación en %
2°	2.0
2°30'	4.0
3°	6.0
3°30'	7.4
4°	8.5
4°30'	9.3
5°	10.0
5°30'	10.6
6°	11.0
6°30'	11.4
7°	11.7
8°	12.3
9°	12.6
10°	12.8
en adelante	12.8
En caminos tipo especial la sobreelevación máxima aconsejable es del 10%.	

Tabla 2.2: Pendiente máxima recomendada.

Fuente: Crespo Villalaz, Vías de Comunicación (2010).

3. Transición del bombeo a la sobreelevación. De acuerdo con el cambio de una sección en tangente a otra en curva en el alineamiento horizontal se requiere cambiar la pendiente de la corona, desde el bombeo hasta la sobreelevación correspondiente a la curva, este cambio se hace gradualmente en toda la longitud de la curva de espiral de transición. Se recomienda que se le dé parte de la transición en tangentes y parte sobre la curva circular, se ha determinado empíricamente que dentro de la curva circular se le dé una transición del cincuenta por ciento, y que por lo menos una tercera parte de la longitud quede con sobreelevación completa.

Se obtienen tres procedimientos para pasar el bombeo a la sobreelevación, el primero consiste en girar la sección sobre el eje de la corona, el segundo en girar la sección sobre la orilla interior de la corona y el tercero en girar la sección sobre la orilla exterior de la corona, el más conveniente de los procedimientos es el primero ya que requiere menos longitud de transición y los desniveles relativos de los hombros son uniformes, los otros dos métodos solo se emplean en casos especiales.

c) Calzada. Como ya lo ha mencionado el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), la calzada está constituida por uno o más carriles, y es la parte de la corona destinada al tránsito de vehículos, intuyéndose por carril a la faja de ancho suficiente para la circulación de una fila de vehículos por carril. Puede ser variable a lo largo del camino el ancho de calzada esto depende de la localización de la sección en el alineamiento horizontal y excepcionalmente en el vertical.

1. Ancho de calzada en tangente. Para determinarlo se debe establecer un nivel de servicio deseado a final del plazo de previsión o en un determinado año de la

vida de un camino. Con estos datos de estudio se podrán determinar el ancho y número de carriles, de manera que el volumen de tránsito en ese año no exceda el volumen propio al nivel de servicio establecido. Los anchos de carriles más usuales son: 2.75m, 3.05m, 3.35m y 3.65m, normalmente se proyectan dos, cuatro o más carriles; cuando el volumen de tránsito es muy bajo de 75 vehículos por día o menos, se consideran caminos de un carril para las dos direcciones con un ancho de 4.5m.

Es necesario ampliar la calzada en tangentes del alineamiento vertical que tengan fuertes pendientes en su longitud, mediante la adición de un carril para que por el puedan transitar los vehículos lentos, así mejorando el nivel de servicio y la capacidad.

2. Ancho de calzada en curvas del alineamiento horizontal. Es necesario dar un ancho adicional a la calzada al pasar de una tangente a una curva a este sobre ancho se le llama ampliación y debe darse tanto en calzada como a la corona. Este ancho se debe a que cuando un vehículo circula por una curva del alineamiento horizontal ocupa un ancho mayor que cuando circula sobre la tangente.

d) Acotamientos. Según el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), los acotamientos son las fajas adyacentes a la calzada, definidas entre sus orillas y las líneas delimitadas por los hombros del camino sus principales ventajas son las siguientes:

1. La seguridad en el conductor y proporcionar un ancho adicional fuera de la calzada en el que pueda disminuir accidentes severos o también estacionarse en ellos en casos necesarios.

2. Dar confinamiento al pavimento y también proteger contra humedad y erosiones de la calzada.

3. Da mayor visibilidad en los tramos de una curva, sobre todo cuando el camino va en corte.

4. Facilita los trabajos necesarios para la conservación.

5. Dar una mayor apariencia y estética al camino.

Este ancho depende principalmente del volumen del tránsito y del nivel de servicio al que va a funcionar el camino. El color la textura y el espesor de los acotamientos depende de los objetivos que se quieran lograr y de su pendiente transversal será la misma que la de la calzada.

2.4.2. Subcorona.

De acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), se le llama subcorona a la superficie que limita a las terracerías y sobre la que se apoya a las capas de los pavimentos.

2.4.2.1. Terracerías.

Como ya lo ha mencionado el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), la terracería es el volumen de material que se requerirá cortar o terraplenar para dar forma a un camino hasta la subcorona. Los espesores de corte y terraplén en cada punto de una sección estarán definidos por la diferencia de cotas entre el terreno natural y la subcorona. A los puntos intermedios donde la diferencia es nula se les denomina puntos de paso y a las líneas que unen esos puntos se les llama

líneas de paso, a los puntos extremos donde los taludes cortan al terreno natural se les llama ceros y a las líneas que los unen se les llama líneas de ceros.

2.4.2.2. Pavimentos.

Según el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), y Crespo Villalaz, (2010), se le llama pavimento a las capas de material seleccionado o tratado comprendido entre la subcorona y la corona, el cual tiene por objetivo soportar las distintas cargas que se le transmitan por el tránsito y sean repartidas de manera que los esfuerzos que se le transmitan a la capa subyacente y a la subcorona no puedan causar deformaciones perjudiciales al pavimento a su vez proporcionando una superficie de rodamiento adecuada para el tránsito vehicular. Los pavimentos están formados generalmente por varios elementos como pueden ser la sub-base, la base, la carpeta y como última definiendo la calzada.

Algunos elementos para el proyecto de construcción del camino para definir la subcorona son: subrasante, la pendiente transversal y el ancho.

a) Subrasante. De acuerdo con el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), la subrasante es la proyección sobre un plano vertical del desarrollo del eje de la subcorona, en la sección transversal es el punto cuya diferencia de las elevaciones con la rasante está determinado por el espesor del pavimento y el desnivel con respecto al terreno natural sirven para determinar el espesor de corte terraplén.

b) Pendiente transversal. La pendiente transversal de la subcorona es igual a la corona, logrando así tener el mismo espesor de pavimento. Esta podrá ser bombeo o sobre elevación, según sea la sección en tangente, curva o transición.

c) Ancho. Es la distancia horizontal que está comprendida entre los puntos de intersección de la subcorona con los taludes de terraplén, cunetas y cortes, esta función del ancho de la corona y del ensanche.

d) Ensanche. Es un sobreancho que se le da a cada lado de la subcorona, para que con los taludes del proyecto se pueda obtener el ancho de corona después de hacer las capas de base y sub-base.

2.4.3. Cunetas y contracunetas.

Como lo dice el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), y Crespo Villalaz, (2010), estas obras quedan incluidas en la sección transversal ya que son obras de drenaje para la misma.

2.4.3.1. Cunetas.

Se caracterizan por ser zanjas que se construyen en tramos de corte, en uno o ambos lados de la corona, su objetivo principal es de recibir el agua pluvial y de escurrimiento de los taludes de corte o de la corona, esta deberá transportar el agua a alcantarillas de alivio o canalizarla en forma conveniente.

2.4.3.2 Contracunetas.

Según el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), estas obras son construidas arriba de la línea de ceros de un corte, son zanjas de sección

trapezoidal las cuales interceptan los escurrimientos de terreno natural y generalmente son construidas en sección perpendicular a la pendiente máxima con el objeto de tener una mejor canalización del agua.

2.4.4. Taludes.

Como lo menciona el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), los taludes son la inclinación que se da a los cortes o terraplenes, es recíproco a la pendiente y expresado numéricamente. También se le puede llamar pendiente a la línea que está comprendida en ceros y el fondo de la cuneta esta es la que queda en corte, y en terraplén la que queda entre la línea ceros y el hombro correspondiente.

2.4.5. Partes complementarias.

Son todos aquellos elementos que ayudan a la sección transversal y con los cuales se trata de mejorar la operación y conservación del camino. Otros de los elementos que conforman a la sección transversal del camino pueden ser las defensas y los dispositivos para el control del tránsito.

2.4.5.1. Guarniciones y bordillos.

Las guarniciones son comúnmente de concreto hidráulico que van enterradas parcialmente y se emplean principalmente para limitar las banquetas, camellones y delinear la orilla del pavimento.

Los bordillos son construidos sobre los acotamiento junto a los hombros de los terraplenes, estos en causan el agua que escurre por la corona evitando que sea

erosionado el talud del terraplén y principalmente son elementos de concreto asfáltico.

2.4.5.2. Banquetas.

Son fajas que principalmente se destinan a la circulación de peatones ubicadas a niveles superiores a la de la corona y pueden ir a uno o ambos lados de ella.

2.4.5.3. Fajas separadoras y camellones.

Estas fajas separadoras son utilizadas para dividir unos carriles de tránsito de otros en sentido opuesto, o bien, para dividir carriles del mismo sentido pero de diferente naturaleza. Cuando a las fajas se les construyen guarniciones laterales y están a un nivel superior de la superficie de rodamiento de los vehículos toman el nombre de camellones y pueden ser centrales o laterales.

2.4.6. Derecho de vía.

Desde el punto de vista de el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), el derecho de vía es la faja que se requiere para la construcción, conservación, reconstrucción, ampliación, protección y en general para el uso adecuado de la vía y de su servicio. El ancho será requerido para satisfacer sus necesidades, es conveniente que el ancho de derecho de vía sea uniforme en toda la sección, mas sin embargo habrá casos que no se cumpla con ese requisito ya que habrá que disponer de un mayor ancho para alojar intersecciones, bancos de

materiales, taludes de corte y terraplén o servicios auxiliares, el ancho mínimo absoluto será de 25 m a cada lado del eje de la vía.

2.5. Subrasante.

Para el estudio de la subrasante de un tramo se debe analizar el alineamiento horizontal, el perfil longitudinal y las secciones transversales del terreno los datos de la calidad del terreno y la elevación mínima que se requiere para las estructuras.

2.5.1. Subrasante económica.

Como lo menciona el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), se le llama subrasante económica a aquella que ocasione el menor costo, entendiéndose por esto la suma de las erogaciones ocasionadas durante la construcción, operación y conservación del camino. Para el proyecto de la subrasante económica se tomara en cuenta que:

1. Se deberán tomar en cuenta las especificaciones del proyecto geométrico dadas.
2. El alineamiento horizontal será definitivo solo en casos en que requiera se podrá cambiar o modificar en un punto local de la sección.
3. La subrasante deberá permitir alojar las alcantarillas, puentes y pasos a desnivel, su elevación deberá ser la necesaria para evitar humedades en las terracerías o en los pavimentos.

2.5.2. Elementos que definen el proyecto de la subrasante.

Estos elementos son necesarios para el proyecto de la subrasante ya que de acuerdo a su configuración y sus propiedades se podrá definir la mejor opción de subrasante.

a) Condiciones topográficas. De acuerdo con la configuración se pueden considerar en los siguientes tipos de terreno: plano, lomerío y montañoso.

En el terreno plano generalmente el proyecto de la subrasante será en terraplén, con altura suficiente para que dar libre de la humedad del suelo y de los escurrimientos laminares en el, así como para dar cabida a alcantarillas, pasos a desnivel y puentes. En este tipo de terreno la compensación longitudinal y transversal de las terracerías son excepcionales. Los terraplenes serán construidos con material de préstamo ya sea lateral o de banco. Generalmente tienen tramos con visibilidad de rebase que no presentan dificultad tanto por el alineamiento horizontal como el vertical.

En terrenos con lomerío se estudiara la subrasante combinando las pendientes especificadas, y además obteniendo un alineamiento vertical ondulado, que permitirá aprovechar el material de los cortes y así formar los terraplenes.

En terrenos montañosos se tienen como configuraciones topográficas, se obtienen grandes volúmenes mediante la excavación para la formación de las terracerías y generalmente queda acondicionado a la pendiente transversal del terreno y el análisis de las secciones transversales en balcón o en zonas críticas.

b) Condiciones geotécnicas. En la localización camino se encuentran las calidades de los materiales para poder lograr que el proyecto de la subrasante sea económico. La elevación de la subrasante está limitada por la capacidad de la carga del suelo que servirá de base al camino.

Un suelo se clasifica como material tipo A, cuando puede ser atacado mediante pico, pala de mano, escrepa o pala mecánica. Y además son suelos poco o nada cementados, con partículas hasta de 7.5 cm; un suelo de material tipo B, se requiere ser atacado mediante el arado o explosivos ligeros, y además se considera como material B las piedras sueltas mayores de 7.5 cm y menores de 75 cm; y finalmente el material tipo C se requiere ser atacado mediante explosivos, requiriendo para su remoción el uso de la pala mecánica de gran capacidad.

Un material es compactable cuando se puede controlar su compactación por alguna de las pruebas de laboratorio y un material no compactable si no se reconoce queda sujeto a un proceso de compactación en el campo, generalmente a estos tipos de material se les aplica un tratamiento de bandeado al emplearse a la formación de los terraplenes, esto tiene por lograr un mejor acomodo de las partículas así reduciendo los vacíos mediante el empleo del equipo de construcción adecuado.

c) Subrasante mínima. Los puntos que determinan la subrasante mínima son los puntos de la elevación mínima y la subrasante económica. Las partes que fijan a la elevación mínima son:

1. Obras menores. Para tener una economía deseada y no alterar el funcionamiento del drenaje, es necesario que el estudio de la subrasante respete la

elevación mínima, pues esto es determinante en terrenos planos, en terrenos de lomerío y montañoso abra que tomar en cuenta la elevación mínima ya que estará obligado a las condiciones de la configuración de la topografía y además habrá espacio vertical suficiente para dar cavidad a las obras menores.

2. puentes. La construcción de puentes generalmente se hace en los cruces de corrientes, pues la elevación definitiva de la subrasante no será conocida hasta que se proyecte la estructura.

3. Zonas de inundación. En un camino que se encuentra en zonas de inundación obliga a guardar cierta elevación de la subrasante que se fija de acuerdo con el nivel de aguas máximas extraordinarias esto es con el objetivo de asegurar la estabilización de las terracerías y del pavimento. Se recomienda que la elevación de la subrasante se como mínimo un metro arriba del nivel de aguas máximas extraordinarias.

4. Intersecciones. Para el proyecto de la subrasante se deberán considerar los cruces ya que dan lugar a intersecciones que pueden ser a nivel o desnivel. En el caso de las intersecciones a desnivel será conveniente hacer un estudio económico para considerar si el paso del camino será superior o inferior.

d) costo de las terracerías. Para obtener una máxima economía en el proyecto de la subrasante es necesario tomar en cuenta los siguientes elementos como costos unitarios, coeficiente de variabilidad volumétrica, las relaciones entre la variación de volúmenes de corte y terraplén y distancia económica de sobre acarreo.

2.6. Movimiento de terracerías.

Con base a lo que dice el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), con las áreas medidas en la sección de construcción se hacen los cálculos de los volúmenes y los movimientos de los materiales se analizan mediante el diagrama de curva masa.

2.6.1. Secciones de construcción.

Es una representación gráfica de las secciones transversales, contiene datos propios del diseño geométrico así como los materiales que forman las terracerías.

Los elementos y conceptos que determinan a una sección de construcción se dividen en dos grupos:

a) Los propios del diseño geométrico son los siguientes: espesor de corte o terraplén, ancho de corona, ancho de calzada, ancho de acotamiento, pendiente transversal, amplitud en curvas, longitud de transición, espesor de pavimento, ancho de subcorona, talud de corte o terraplén y dimensiones de las cunetas.

b) Los impuestos por el procedimiento al que debe sujetarse la construcción de las terracerías son: despalme, compactación del terreno natural, escalón de liga, cuerpo del terraplén, capa subrasante, cuña de afinamiento, muro de retención, berma, estratos en corte y caja en corte. A continuación se describirán los elementos de este inciso.

1. **Despalme.** Es la eliminación de la capa superficial del terreno natural, ya sea que se trate de zonas de cortes, o de áreas destinadas para el desplante de terraplenes.

2. **Compactación del terreno natural.** Es el que se le da al material del terreno, para proporcionarle el peso volumétrico requerido en el cual se desplantara un terraplén o al que quede debajo de la subcorona o de la capa subrasante en un corte.

3. **Escalón de liga.** Es cuando la pendiente transversal del terreno es poco menor que la inclinación del talud 1.5:1 y sirve para darle forma al desplante de un terraplén dando una liga adecuada con el fin de evitar un deslizamiento.

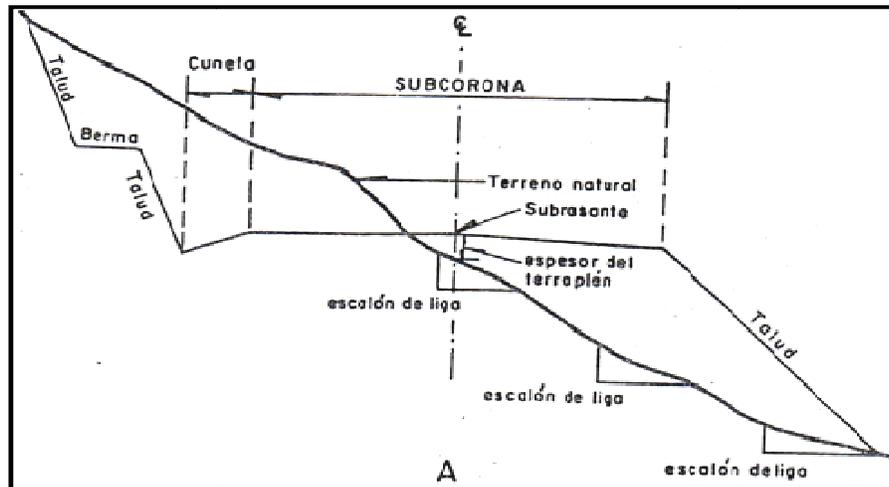


Figura 2.9: Escalón de liga típico de un camino.

Fuente: Manual de Proyecto Geométrico SCT, (1991).

4. **Cuerpo del terraplén.** Es la parte del terraplén que queda por debajo de la subcorona.

5. Capa subrasante. Es la capa inferior a la subcorona tanto en corte como en terraplén y generalmente tiene un espesor de 30 cm formada por suelos seleccionados que soportan cargas que le transmite el pavimento.

6. Cuña de afinamiento. Es el sobre ancho que se le da al terraplén, para lograr una compactación adecuada en sus orillas. Teniendo forma triangular con un ancho de 20 cm en su parte superior al nivel del hombro de la corona y terminada en la línea de ceros del talud.

7. Muro de retención. Es necesario construir muros de retención, cuando la línea de ceros del terraplén no llega al terreno natural, cuya ubicación y altura estarán dadas por un estudio económico.

8. Berma. Es la unión de material que se le da al talud de un terraplén para darle una mayor estabilidad y en los cortes se hace recortando el talud como un escalón, también para darle una mayor estabilidad y de tener en él al materia que se pueda desprender evitando que llegue a la corona.

9. Estratos en cortes. Se le llama a las diferentes capas en un corte cuando el material está formado por distintas características a las demás.

10. Caja en corte. Es una excavación de material por debajo de la subcorona donde este material es inadecuado para formar la capa subrasante, colocando material con características apropiadas para su formación.

CAPÍTULO 3

ESTUDIOS TÉCNICOS EN RELACIÓN AL CAMINO.

Un estudio técnico es donde se analizan elementos que tienen que ver con la ingeniería básica, para ello se tiene que hacer la descripción detallada del camino, con una finalidad de mostrar todos los requerimientos para hacerlo en gabinete y estudios necesarios para su desarrollo.

3.1. Estudios topográficos.

Según Montes de Oca (1996), una de las bases fundamentales en un proyecto es la topografía. Este estudio es muy importante para cualquier proyecto de elaboración y ejecución de ingeniería de las obras que tengan como asiento la superficie del suelo.

Las características del terreno son la guía para el ingeniero, para la mejor distribución y ubicación de la obra. Una vez que se tengan de forma analítica, los dientes ejes de simetría de la obra, con elementos fijos del terreno se procede al replanteo. En el replanteo se ubican en el terreno las diferentes partes de la obra.

3.1.1. Reconocimiento topográfico.

Una vez elaborado el croquis de selección de ruta se comenzara el trabajo de campo o reconocimiento preliminar en el cual se hará la recolección de datos de gran utilidad en el proyecto como lo relativo de afectaciones, características de ríos, nombres de los lugares intermedios, localización de zonas bajas o inundables

niveles de agua en crecientes y si es posible un técnico como guía en el reconocimiento del camino.

Al terminar, se procederá a hacer reconocimiento directo del camino para determinar en general sus características como son la geología, hidrológicas y topográficas y complementarias. De tal manera se verá el tipo de suelo, ubicación de bancos para revestimientos y agregados para las obras de drenaje, cruces apropiados para el camino sobre ríos y arroyos, existencia de escurrimientos superficiales o subterráneos que afecten al camino, tipo e vegetación y densidad, así como pendientes aproximadas y ruta a seguir en el terreno.

Para conocer las características del terreno, se requiere del tiempo necesario y para llevar se utilizaba instrumentos de medición como la brújula para determinar los rumbos, clisímetro para determinar las pendientes y odómetro de vehículos.

A través del reconocimiento se determina puertos topográficos (puntos bajos de paso a través de una cordillera) ya que ahorra en el desarrollo longitudinal de la vía, evita fuertes pendientes y ahorran mucho en la construcción. Los puertos obligados por lugares de paso, dependiendo de beneficios sociales o políticos. Con todos los datos recabados, se establecerá una ruta tentativa.

3.1.2. Trazo preliminar.

Ya teniendo localizados los puntos obligados se procede a ligar para la poligonal abierta mediante el siguiente procedimiento:

1. Establecer un punto de partida conocido como entronque, puente que se pueda identificar fácilmente o en caso de no existir se establece un punto de partida tomando referencias completas.
2. Se trazara la poligonal lo mas apegada posible a los puntos establecidos, orientados, referenciados y deflexiones marcadas con exactitud.
3. Establecer el kilometraje, si se parte de un kilometraje conocido su punto de partida es de 0+000.
4. En la poligonal abierta se van clavando estacas a cada 20 m, y en todos los puntos intermedios necesarios debidos a quiebres fuertes pendientes.
5. Coloque mojoneras de concreto para marcar los puntos de inflexión (PI).
6. Se deberá tomar lectura en todo los ángulos de PI y los puntos intermedios se deberán tomar 2 veces basculando el anteojo y girando 180° para la segunda.
7. Conservar limpias y entendibles las notas de campo donde se registraran las estaciones, los ángulos, el azimut, las distancias a corrientes de agua, cercas, caminos, etc.
8. Nivelación de la poligonal, clavando estacas a cada 20m, y colocar los bancos de nivel mínimo a cada 500 m, y en los puntos apropiados para puentes. Comprobar cada cota conocida con la de la cota del banco anterior. Si en dado caso no está dentro del rango repetir hasta obtenerlo.
9. Se enumeran los bancos de nivel por el kilometro que se encuentran y en número de orden que le correspondan ase kilometro.
10. Una vez teniendo los datos de campo se procede en la oficina, para comenzar a vaciar los puntos para empezar a trazar la línea preliminar o poligonal base.

En el plano de la poligonal base se comienza a trazar las curvas del nivel y las secciones transversales.

11. Obtener una limpieza perpendicular al eje del camino de 80 a 100 m y en caso del PI se deberá tener la bisectriz del ángulo interior para limpiar en esa dirección. Obtener las curvas de nivel a cada metro.

3.1.3. Línea definitiva.

Después de tener la línea preliminar se procede a la línea definitiva para trazarla en el terreno. El procedimiento para dibujarla es diferente a la que se utiliza con un perfil normal ya que a cada estación ubicada en la línea teórica del camino se le asigna la elevación de la curva de nivel en este punto. A la línea de terreno natural en el perfil también es llamado a pelo de tierra. Para tener una compensación la línea de proyecto en tangentes compense derecha e izquierda y en pendientes fuertes conviene que la línea de proyecto este sobre la línea de terreno natural para aprovechar la subrasante o sea en este caso no habrá compensaciones de terracerías sino desperdicios. Esto se hace promedio de iteraciones hasta tener un resultado deseado. Con este perfil se tendrá una idea más clara de cómo compensar los volúmenes según el trazo.

3.1.4. Referencias.

Como lo indica Crespo Villalaz (2010), una vez trazado el eje definitivo se procede a trazar en el campo para corregir, se requiere trazar la línea y establecer los puntos PI, PC, PT y PST con sus referencias, para poder ubicarlos cuando se pierdan por alguna circunstancia los trompos o estacas que indican su localización,

ya sea por el retraso o construcción del camino. Para referenciar el punto se emplean ángulos y distancias procurando que las referencias queden fuera del derecho de vía. Se dejarán referenciados los puntos que definen el trazo como PI, PC, PT y PST, que no sea mayor de 500 m.

“Los ángulos se medirán en cuadrantes, tomando como origen el eje del camino y en los PI el origen será la tangente del lado del PC o sea en el sentido de avance de la línea y la numeración de los puntos de avance se harán en el sentido de las manecillas del reloj” como visuales se harán con varilla o obstáculos fijos, (villalaz; 2010, 94).

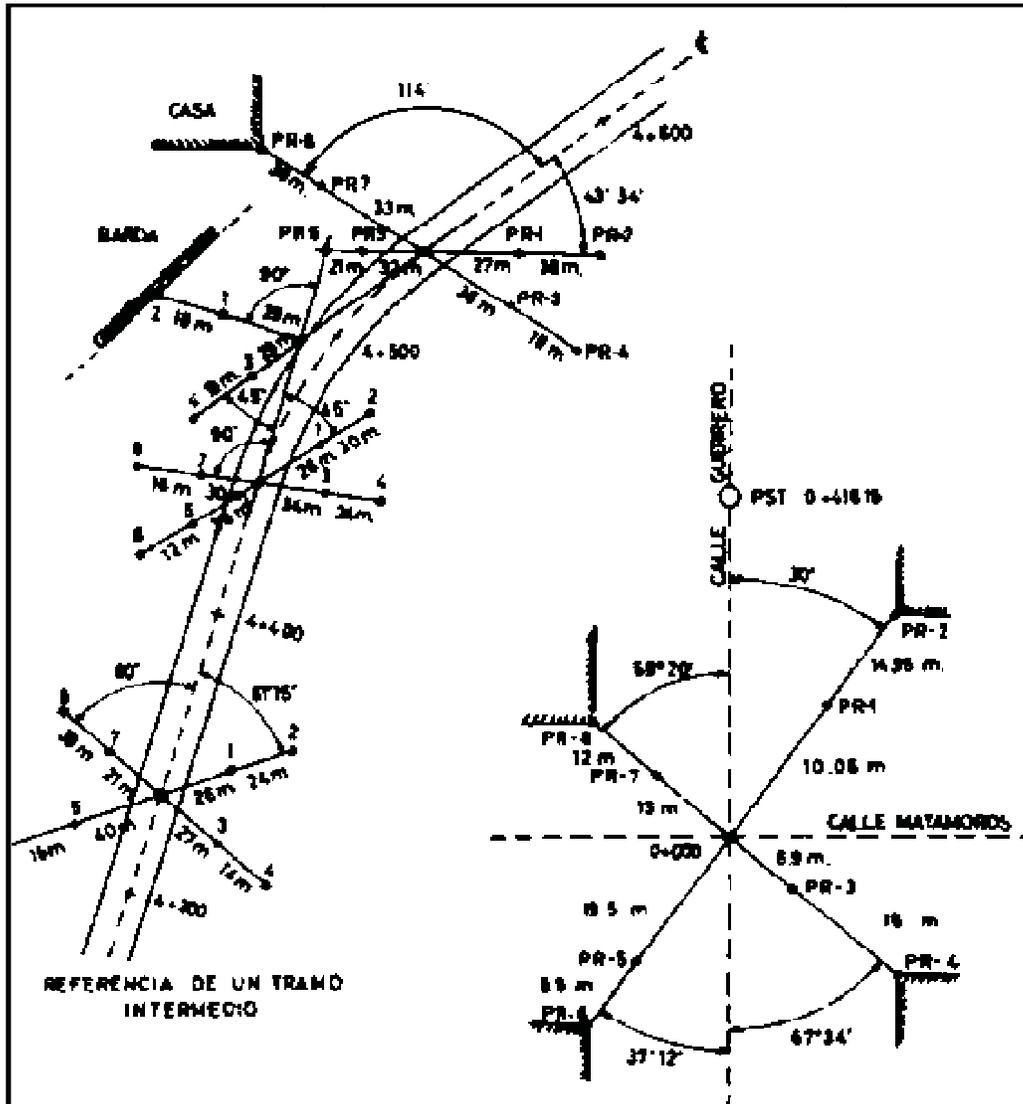


Figura 4. Representación de referencias sobre el camino.

Fuente: Crespo Villalaz, Vías de Comunicación (2010).

3.1.5. Nivelación.

Atendiendo a lo que dice Crespo Villalaz (2010), una vez trazada la línea definitiva en el campo con sus referencias, se nivela la línea para apoyar las

secciones de construcción y poder tener el perfil del terreno y proyectar la subrasante.

De acuerdo con Crespo Villalaz (2010), a la diferencia de nivel entre dos o más puntos se le llama nivelación, existen tres etapas que son nivelación topográfica, nivelación trigonométrica y nivelación barométrica:

1. La nivelación topográfica se realiza con aparatos llamados niveles que dan directamente las diferencia de alturas mediante observaciones y operaciones adecuadas.
2. La nivelación trigonométrica se realiza mediante las propiedades trigonométricas de un triángulo o rectángulo y para su ejecución utiliza la medición de ángulos verticales y distancias practicadas a lo largo de la poligonal.
3. La nivelación barométrica se realiza mediante un barómetro.

En caminos generalmente se sigue la nivelación de perfil y se comprueba con la nivelación diferencial.

Una vez que se ubicado el trazo preliminar en los planos topográficos, y también así decidido el tipo de camino que será necesario construir, es necesario definir algunas de las características importantes de la carretera como son, la velocidad de proyecto, grado de curvatura, longitudes, sobre elevación, etc. Por lo tanto será necesario revisar en todo momento la pendiente del trazo definitivo nunca sea mayor que la pendiente máxima permitida.

3.2. Estudios geotécnicos.

Como lo señala Rico del Castillo (2002), la geotecnia es una rama de la ingeniería que se encarga del estudio de las propiedades mecánicas, hidráulicas e ingenieriles de los materiales provenientes del suelo. La mayor parte de los suelos son una acumulación de granos minerales no sementados o de descomposición química de rocas preexistentes.

Según Rico del Castillo (2002), es importante para el diseño y construcción de cimentaciones y terracerías conocer las propiedades físicas de los suelos tales como peso unitario, permeabilidad, resistencia al esfuerzo cortante, compresibilidad e interacción con el agua, estas propiedades son de gran importancia para su estudio.

Para describir al suelo es necesario clasificarlo y colocarlo en categorías o grupos que tienen distintas propiedades, esta clasificación se deberá completar con las pruebas de laboratorio que puedan determinar las características del comportamiento del suelo. Esta clasificación se hizo en 1952 por el Bureau of Reclamation y el Corps of Engineers, en unión con el profesor A. Casagrande, dando origen al llamado "Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS)", este sistema está basado en los tamaños de las partículas, sus cantidades de variedad de tamaños como también de las características de los granos finos.

Esta clasificación tiene el propósito de conocer las propiedades y la calidad de los materiales, de los cuales está conformado el terreno, el cual tendrá como función principal el soportar las cargas a las cuales estará sometido en las diferentes

estructuras. Para iniciar estos trabajos se debe seguir una secuencia de acuerdo a las recomendaciones y normas, efectuando un reconocimiento previo de la zona y estimar las condiciones del suelo, para luego proceder con la exploración e investigación determinada.

3.2.1. Principales tipos de suelos.

Citando a Juárez Badillo (2002), las arenas, gravas, ripios o cantos rodados son agregados sin cohesión de fragmento redondeados poco o nada alterados de rocas. Las partículas menores a 2 mm. Se clasifican como arenas y aquellos de mayor tamaño 15 a 30 mm. Son gravas, ripios o cantos rodados. Los fragmentos de rocas de mayor tamaño se conocen como bolos.

a) Limos inorgánicos. Suelos de grano fino con poca o ninguna plasticidad.

B) Arcillas. Agregados de partículas microscópicas con átomos dispuestos en planos, son suelos plásticos con humedad, cuando están secos son muy duros sin que sea posible sacar polvo al ser frotados. Tienen permeabilidad baja. Cuando están muy consolidados se les llama ARCILLOLITAS.

c) Turbas. Suelo orgánico, son agregados de materia orgánica descompuesta. No se cimienta en ellos debido a su extremada compresibilidad, cuando esta secas flotan y algunas emiten gases como el metano.

d) Morrenas. Depósitos glaciales no estratificados de arcilla, limos, arena o cantos rodados, producida por acción escarificadora de los glaciares.

e) Tufas. Agregados finos de materiales y fragmentos de roca muy pequeños arrojados por los volcanes durante las explosiones y que han sido transportados por el viento o por el agua.

f) Loess. Sedimentos eólicos, uniformes y cohesivos, comúnmente de color castaño claro (Desiertos). Deposito poroso relativamente uniforme de limo transportado. Tiene una estructura floja con numerosos huecos de raíces que producen exfoliación vertical y una permeabilidad vertical muy alta.

g) Caliche. Es el término que se le da a ciertas capas del suelo cuyos granos están cementados por carbonatos calcáreos de regiones semiáridas. El carbonato de calcio se deposita por la evaporación de agua subterránea que llega a la superficie por acción capilar.

h) Greda. Este término se les da a las arcillas de alta plasticidad.

i) Bentonita. Arcilla con alto contenido de montmorillonita. La mayoría se forman de alteraciones químicas de cenizas volcánicas. Puede ser dura cuando está seca pero se expande considerablemente cuando esta húmeda.

j) Lodo bentonítico: Es una arcilla expansiva que se adhiere a las paredes permitiendo estabilidad permanente, y es el resultado de la unión de montmorillonita y agua.

k) Montmorillonita. Es la arcilla más expansiva que al secarse después de estar saturada produce retracción considerable (contracción), con el consiguiente

agrietamiento, tiene mayor plasticidad, mayor actividad, más baja permeabilidad y más bajo ángulo de fricción interna. Las montmorillonitas se caracterizan por una sustitución isomorfa abundante y, en teoría, cada sustitución produce un mineral distinto.

3.2.2. Aspectos generales de muestreo.

Según Rico del Castillo (2002) y Juárez Badillo (2002), los aspectos generales del muestreo son los que determinarán el método de exploración o investigación las técnicas que se utilizan y los pasos a seguir para el muestreo.

3.2.2.1. Técnica de exploración.

Según Rico del Castillo se emplea un método de investigación directa, con excavaciones a mano para todos los puntos a sondear, la exploración a usar será de pozos a cielo abierto, que son aplicables a todos los estudios de mecánica de suelos en los cuales sea posible al realizarlo.

3.2.2.2. Número de pozos.

En el caso de carreteras el espaciamiento entre pozos es mayor debido a que se trata de una estructura lineal, entonces lo más conveniente para realizar perforaciones y obtener muestras representativas, es localizar los pozos siguiendo un criterio de distribución representativa, de tal manera que se cubra el área de estudio total, tomando mayor importancia en lugares particulares en el que se tenga mayor interés o información más precisa.

3.2.2.3. Ubicación de los pozos.

La ubicación de las perforaciones se hará de tal manera que se pueda ordenar el perfil de un pozo con el de los otros y así obtener secciones transversales representativas, en diferentes direcciones.

3.2.2.4. Profundidad de los pozos.

En los estudios de vías terrestres, la carga máxima admitida es de 6 toneladas por eje simple, es decir 3 toneladas por rueda, la que convertida a esfuerzos de contacto se convierte en 4 kg/cm^2 , este esfuerzo se hace prácticamente nulo a 1.5 metros de profundidad. Por consiguiente se deberá de realizar los pozos con una profundidad de 1.5 metros de profundidad.

3.2.2.5. Muestreo.

Consiste en la obtención de una porción del material con el que se pretende construir una estructura o bien del material que ya forma parte de la misma, de tal manera que las características de la porción obtenida sean representativas del conjunto. En el muestreo, además, incluye las operaciones de envase, identificación y transporte de las muestras. El muestreo comprende dos tipos de muestras:

1. Muestras alteradas. Son aquellas que están constituidas por el material disgregado o fragmentado, en las que no se toman precauciones especiales para conservar las características de estructura y humedad, no obstante, en algunas ocasiones conviene conocer el contenido de agua original del suelo, para lo cual las muestras se envasan y transportan en forma adecuada.

2. Las muestras inalteradas. Donde los suelos podrán obtenerse de una excavación, de un frente, ya sea de corte o de banco o bien, de perforaciones llevadas a profundidad con herramientas especiales. Las muestras deberán ser representativas de cada capa que se atravesase, hasta llegar a una profundidad que puede corresponder al nivel más bajo de explotación, al nivel de aguas freáticas o aquél al cual sea necesario extender el estudio.

3.2.3. Identificación.

Se identificarán las bolsas o cajas que contengan las muestras, esto con una tarjeta, para su fácil identificación en el transporte y en los ensayos de laboratorio.

Estas tarjetas indicarán lo siguiente:

Ubicacación y tipo de Pavimentacion.	
Número de pozo:	02
Profundidad:	1.55 m
Número de muestra:	02
Tipo de muestra:	Mab
Tipo de excavación:	Cielo abierto
Clasificación visual:	Arcilloso
Color (viso) :	rojizo con viso marrón
Cantidad aproximada:	45 kg.

Tabla 3.1: Tarjeta de identificación de pozos.

Fuente: Rico del castillo, (2002).

3.2.4. Ensayos de campo y laboratorio.

Los ensayos de suelos en laboratorio, tienen como objeto identificar y clasificar el material conforme a sus propiedades físico y mecánicas estableciendo criterios de control sobre la muestra.

De acuerdo al nivel de estudio requerido, se procederá a la realización de ensayos y análisis de las muestras.

3.2.4.1. Tipo de ensayos de laboratorio.

Los ensayos de suelos en laboratorio, tienen como objeto identificar y clasificar el material conforme a sus propiedades físico y mecánicas estableciendo criterios de control sobre la muestra.

3.2.4.2. Equipo a utilizar.

El equipo y el personal necesario para la realización de la muestra son: picos, palas, barretas, pulsetas, posteadoras, sacos o costales.

El peso mínimo de la muestra será de 40 Kg, que es la cantidad de suelo que comúnmente se requiere para realizar las pruebas en materiales de terracerías, esta cantidad deberá obtenerse de una muestra representativa mediante el procedimiento de cuarteo.

El espaciamiento de los sondeos y el número de muestras que se tomen deberán estar de acuerdo con la homogeneidad del suelo y el tipo de estudio de suelo de que se trate. En suelos que se presenten pocas variaciones en sus características, el espaciamiento de los sondeos será mayor que en los suelos

heterogéneos. Igualmente, en los estudios preliminares el espaciamiento será mayor que en los estudios definitivos.

3.2.4.3. Ejecución de los ensayos de laboratorio.

Un examen visual de las muestras de suelo obtenidas en los sondeos de exploración puede dar una imagen preliminar de las condiciones del suelo, el estudio de los resultados de las pruebas o ensayo de laboratorio aclara esa imagen y permite analizar las condiciones del suelo basándose en condiciones reales.

3.2.4.4. Información requerida del sub-suelo.

En ese sentido se definirán los parámetros necesarios para las diferentes estructuras a proyectar, en la figura siguiente resumimos los diferentes ensayos necesarios:

Estructuras a Proyectar.	Componente Estructural.	Ensayos requeridos Parámetros a evaluar.
PAVIMENTOS	Sub-rasante	Perfil estratigráfico (Li, Lp Granulometría). Contenido de humedad. Compactación (Proctor Modificado). Capacidad de soporte (C.B.R).
CANTERAS.	Carpeta de Rodadura.	Perfil estratigráfico (Li, Lp Granulometría). Contenido de humedad. Abrasión. Peso unitario. Peso específico.
	Material de préstamo Sub-base y Base.	Perfil estratigráfico (Li, Lp Granulometría). Contenido de humedad. Compactación (Proctor Modificado). C.B.R. Abrasión o Prueba de los Angeles.

Figura 3.1: Parámetros y ensayos requeridos para un subsuelo.

Fuente: Rico del Castillo, (2002).

3.3. Pruebas de laboratorio para caminos.

Las pruebas de laboratorio necesarias para el estudio de un camino y conocer las propiedades de un suelo son de gran importancia ya que con estas pruebas se podrá dar una alternativa para el diseño y propuesta de pavimentación.

3.3.1. Contenido de humedad (W).

De igual forma como lo indican las Normas de la SCT, el contenido de humedad consiste en determinar la cantidad de agua contenida en una porción de suelo actual del terreno, expresada en porcentaje. Con un objetivo, determinar la cantidad de agua que posee una muestra de suelo, con respecto al peso seco de la muestra. Determinar este contenido de agua con los 2 métodos: Rápido y Estándar.

3.3.2. Prueba del peso volumétrico seco suelto (P.V.S.S.).

Esta prueba se hace con el objetivo de determinar el peso por unidad de volumen de una arena cuando el acomodo de sus partículas es en forma libre o natural. Con un objetivo de obtener la cantidad de suelo en kilogramos que se puede lograr por metro cúbico, al vaciar material a un recipiente de volumen conocido y sin darle acomodo a las partículas.

3.3.3. Granulometría.

Según las Normas de la SCT (M-MMP-4-01-003), el análisis granulométrico de un suelo consiste en separar y clasificar por tamaños los granos que lo componen. A partir de la distribución de los granos en un suelo, es posible formarse una idea aproximada de otras propiedades del mismo.

3.3.3.1. Métodos para encontrar la granulometría.

Los métodos que se mencionarán a continuación son los métodos más comunes para encontrar la granulometría de un suelo.

1. Tamizado mecánico. Es un método directo, para separar un suelo en fracciones de distinto tamaño. Consiste en hacer pasar el material a través de una serie de mallas. Normalmente se utiliza en suelos gruesos.

2. Método del lavado. Se utiliza para separar suelos finos de suelos gruesos y sirve de complemento al tamizado mecánico, se usa la malla No. 200.

3. Método del Hidrómetro. Se aplica para suelos finos. Sedimentación de una muestra, se utiliza la ley de Stokes.

1. Densímetro para medir densidades en suspensión.
2. El hidrómetro es un aparato similar al densímetro que mide en suspensiones.
3. Es un método ampliamente utilizado para obtener un estimativo de la curva granulométrica de los suelos cuyas partículas se encuentran desde el tamiz No. 200 hasta alrededor de 0.001mm.
4. Se representa a continuación de la curva del tamizado mecánico.

3.3.3.2. Curva granulométrica.

Así como lo indica Juárez Badillo (2002) y Rico del Castillo (2002), la curva granulométrica busca referenciar a todo el tamaño de la muestra el porcentaje del peso total. La grafica granulométrica suele dibujarse con porcentajes como ordenadas y tamaños de las partículas como abscisas. Las ordenadas se refieren al

porcentaje, en peso, de las partículas menores que el tamaño correspondiente. La representación en escala semilogarítmica, resulta preferible a la simple representación natural, pues en la primera se dispone de mayor amplitud en los tamaños finos y muy finos, que en escala natural resultan muy comprimidos, usando un módulo práctico de escala.

La curva granulométrica da gran información acerca de:

1. Tipo de suelo de acuerdo al tamaño de las partículas.
2. Suelos gruesos cuando más del 50% es retenido por la malla No. 200.
3. Suelo fino cuando más del 50% pasa la malla No. 200.
4. Cuando se retiene más del 50% de la fracción gruesa la malla no. 4, es grava.
5. Cuando pasa más del 50% de la fracción gruesa la malla no. 4, es arena.
6. Para distinguir entre limos y arcillas se hace por sus propiedades mecánicas.

3.3.4. Límites de consistencia.

Según las Normas de la SCT (M-MMP-4-01-006), los límites de consistencia permiten conocer el grado de cohesión de las partículas de un suelo y su resistencia a fuerzas externas que tiene a deformar la estructura. Los límites de consistencia de un suelo están referidos a la cantidad de agua contenido en la muestra y su consistencia. Con un Objetivo de Determinar los Límites: Líquido, Plástico y de Contracción, también obtener la prueba de Contracción lineal, esta última tiene aplicación en los estudio de materiales que se utilizan en las capas del pavimento. .

1. Límite Líquido (LL). Fija el contenido de agua que debe tener un suelo remedado para que una muestra del mismo, en que se haya practicado una ranura de dimensiones estándar, al someterla al impacto de 25 golpes bien definidos, se cierre sin resbalar en su apoyo. El Límite Líquido, se define también como el contenido de humedad que requiere un suelo para presentar una resistencia al esfuerzo cortante de aproximadamente 25 gr/cm^2 independientemente de su mineralogía.

2. Límite Plástico (LP). Fija el contenido de agua con el que comienza a agrietarse un rollo formado con el suelo, de aproximadamente de 3.2 mm de diámetro, al rodarlo con la mano sobre una superficie lisa, no absorbente que puede ser una placa de vidrio.

3. Límite de Contracción (LC). Es la denominación que recibe el material que se encuentra entre los estados semisólido y sólido, que es el contenido de agua que satura a un suelo contraído por el secamiento de evaporación, ya no provocado disminución de volumen.

3.3.5. Compactación proctor modificado.

Se entiende por compactación a todo proceso que aumenta el peso volumétrico de un material granular. En general, es conveniente un suelo para incrementar su resistencia al esfuerzo cortante, reducir su compresibilidad y hacerlo más impermeable.

El acomodo de las partículas en un suelo que se ha tratado de mejorar, no sólo depende de las características del dispositivo, para compactarlo, sino

fundamentalmente de la humedad que tiene el material. Por lo tanto, dado un proceso de compactación, para cada material existe un contenido de agua llamada humedad óptima, con el que se obtiene el peso volumétrico.

3.3.6. Relación de Soporte de California (CBR).

Según las normas de la SCT (M-MMP-4-01-007), el método del CBR mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas. Este ensayo es de punzonamiento, casi de carácter empírico, es utilizado para conocer la estabilidad de los suelos cuando es solicitada su resistencia mecánica.

El valor del CBR se utilizará para establecer una relación entre el comportamiento de los suelos principalmente con fines de utilización como base y sub-rasante bajo pavimentos de carreteras.

La finalidad de este ensayo, del CBR, es determinar la capacidad de soporte, de suelos y agregados compactados en laboratorio, con una humedad óptima y niveles de compactación variables. Es un método desarrollado por la división de carreteras del Estado de California y sirve para evaluar la calidad relativa del suelo para sub-rasante, sub-base y base de pavimentos.

El ensayo mide la resistencia al corte de un suelo bajo condiciones de humedad y densidad controladas, permitiendo obtener un (%) de la relación de soporte. El (%) CBR, está definido como la fuerza requerida para que un pistón

normalizado penetre a una profundidad determinada, expresada en porcentaje de fuerza necesaria para que el pistón penetre a esa misma profundidad y con igual velocidad, en una probeta normalizada constituida por una muestra patrón de material chancado.

La expresión que define al CBR, es la siguiente:

$$CBR = \frac{\text{esfuerzo en el suelo ensayado}}{\text{esfuerzo en la muestra patrón}} \times 100$$

$$CBR = (\text{carga unitaria del ensayo} / \text{carga unitaria patrón}) * 100 (\%)$$

De la ecuación se puede ver que el número CBR, es un porcentaje de la carga unitaria patrón. En la práctica el símbolo de (%) se quita y la relación se presenta simplemente por el número entero.

Usualmente el número CBR, se basa en la relación de carga para una penetración de 2,5 mm. (0,1"), sin embargo, si el valor de CBR a una penetración de 5 mm (0,2") es mayor, el ensayo debe repetirse.

Si en un segundo ensayo se produce nuevamente un valor de CBR mayor de 5 mm de penetración, dicho valor será aceptado como valor del ensayo. Los ensayos de CBR se hacen sobre muestras compactadas con un contenido de humedad óptimo, obtenido del ensayo de compactación Proctor.

Antes de determinar la resistencia a la penetración, generalmente las probetas se saturan durante 96 horas para simular las condiciones de trabajo más desfavorables y para determinar su posible expansión.

En general se confeccionan 3 probetas como mínimo, las que poseen distintas energías de compactación (lo usual es con 56, 25 y 10 golpes).

El suelo al cual se aplica el ensayo, debe contener una pequeña cantidad de material que pase por la malla de 50 mm, y quede retenido por la malla de 20 mm, se recomienda que esta fracción no exceda del 20%.

3.3.7. Pruebas de equivalencia de las arenas.

Rico del Castillo (2002), señala que esta prueba tiene por objetivo obtener las proporciones volumétricas relativas de las partículas gruesas de un suelo respecto a los finos plásticos. Es un procedimiento muy rápido para conocer la calidad de los materiales como es la sub-base, base, carpeta asfáltica y arena para concreto.

Debido a que una buena cimentación de un camino necesita la menor cantidad de finos posible, sobre todo de arcillas, que son los materiales que en contacto con el agua causan un gran daño al pavimento, pues es necesario saber si la cantidad de finos que contienen los materiales que serán utilizados en la estructura del pavimento es la adecuada, por tal motivo se hizo necesario el plantear una manera fácil y rápida que nos arroje dichos resultados, sobre todo cuando se detectarán los bancos de materiales.

Se pretende que esta prueba sirva como una prueba rápida de campo para investigar la presencia de materiales finos o de apariencia arcillosa, que sean perjudiciales para los suelos y para los agregados pétreos.

3.3.8. Prueba Porter.

Atendiendo a lo que menciona Rico del Castillo (2002), en suelos friccionantes es muy común que las pruebas dinámicas produzcan una curva de compactación con una forma inadecuada para la determinación del peso volumétrico seco máximo y una humedad óptima. También, para este tipo de suelos existen otras pruebas de compactación en las que usualmente se define una curva de compactación de forma típica, adaptada para los fines que se persiguen.

Una de éstas es la prueba de compactación estática, que introdujo O. J. Porter y que alcanzó su forma definitiva alrededor de 1935. En ella se compacta al suelo colocándolo dentro de un molde cilíndrico de unas 6" de diámetro, el suelo se dispone en tres capas y se acomoda con 25 golpes de una varilla con punta de bala, lo que no significa una compactación intensa, pues la varilla es ligera y la altura de caída, que no está especificada es la mínima utilizable por el operador para la manipulación cómoda.

La compactación propiamente dicha se logra al aplicar al conjunto de tres capas una presión de 140.6 Kg/cm², la cual se mantiene durante un minuto.

Este método de prueba sirve para determinar el peso volumétrico seco máximo y la humedad óptima en suelos con partículas gruesas que se emplean en la construcción de terracerías, también se puede emplear en arenas y en materiales finos cuyo índice plástico sea menor que 6. El método consiste en preparar especímenes con material que pasa la malla de una pulgada, a los que se le agregan diferentes cantidades de agua y se les compactan con una carga estática.

3.3.9. Parámetros de comportamiento.

Una vez realizado los ensayos en el laboratorio, procedemos a analizar los resultados, para de esta manera evaluar las propiedades del suelo, así como para predecir su comportamiento como material de ingeniería.

3.3.10. Clasificación unificada de suelos (SUCS).

Según Rico del Castillo (2002), este sistema fue propuesto por Arturo Casagrande, clasificándolo en tres tipo de suelos.

1. Suelos de grano grueso.
2. Suelos de grano fino.
3. Suelos orgánicos.

Los suelos se designan por símbolos de grupo. El símbolo de cada grupo consta de un prefijo y un sufijo. Los prefijos son las iniciales de los nombres en ingles de los seis principales tipos de suelos, mientras que los sufijos indican subdivisiones en dichos grupos.

1. Suelos gruesos. Lo conforman las gravas y arenas, y se separan con la malla No. 4, de manera que un suelo pertenece al grupo de grava si más del 50% retiene por la malla No. 4 y pertenecerá al grupo arena en caso contrario.

2. Suelos finos. El sistema unificado considera los suelos finos divididos entre grupos. Cada uno de estos suelos se subdivide a su vez según su límite líquido, en dos grupos cuya frontera es $LI = 50\%$, si el límite líquido del suelo es menor de 50 se añade al símbolo "L" (low compresibility) y en caso contrario si es mayor de 50 el símbolo "H" (hig compresibility).

3. Suelos orgánicos. A estos suelos los conforman las turbas y otros suelos altamente orgánicos, se identifican fácilmente por su olor, color, sensación esponjosa y con frecuencia por su estructura esponjosa.

Se muestra la tabla del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos en los anexos.

CAPÍTULO 4

ESTUDIOS HIDROLÓGICOS E HIDRÁULICOS.

Se mencionarán a continuación los métodos hidrológicos y los procedimientos más usuales en la ingeniería de las vías terrestres para determinar el gasto de diseño, para definir el tipo y dimensiones de las alcantarillas se mencionaran a continuación.

De acuerdo con Olivera B.F. (1986), los aspectos básicos de la hidrología se tratan con métodos empíricos como son la formula racional y los métodos semiempíricos que toman las características fisiográficas de la cuenca y la precipitación para su cálculo. Los aspectos hidráulicos son una forma más práctica, donde solo toman en cuenta lo fundamental en las cuestiones teóricas, para el desarrollo enfocado al tema de las alcantarillas, a diferencia de los puentes se toma en cuenta un estrechamiento en el cauce provocando cambios en el escurrimiento.

4.1. Estudios hidrológicos.

La hidrología es una ciencia que estudia la ocurrencia, distribución, movimiento y propiedades del agua, sobre la superficie terrestre y debajo de ella. Esta ciencia se relaciona con la geotecnia, meteorología, oceanografía, hidráulica, química y geofísica. Los objetivos de la hidrología pueden dividirse en dos grupos:

a) Obtención de la avenida máxima de una corriente de agua para una frecuencia de diseño de obras como puentes, alcantarillas, vertedores, bordos, derivaciones, etc.

b) Conocimiento de la cantidad, frecuencia y naturaleza de ocurrencia del agua sobre la superficie terrestre y debajo de ella para diseñar sistemas de riego, abastecimiento de agua, aprovechamientos hidroeléctricos, navegación en ríos, etc.

4.2. Ciclo hidrológico.

En general es la circulación del agua, que empieza por la evaporación de los océanos, transportándolo por las masas de aire en movimiento, el vapor se condensa formando nubes ocasionando la precipitación, de lo cual una parte es retenida por la superficie y la otra penetrando en el suelo. La parte que escurre sobre la superficie es drenada por arroyos y ríos hasta los océanos, perdiéndose una parte por evaporación y la otra parte que se infiltra puede satisfacer ciertas condiciones y abastecer los depósitos subterráneos, de donde pueden fluir hacia los ríos o descargar en los océanos.



Figura 4.1: Ciclo hidrológico.

Fuente: <http://water.usgs.gov/gotita/watercyclegraphic.html>

4.3. Generalidades de una cuenca.

Una cuenca se compone de varias partes, las cuales se encargan de captar el agua precipitada y transportarla hacia una corriente de agua, esto ocurre mediante diferentes factores y características propias de la cuenca.

4.3.1. Cuenca.

Según Aparicio (2005), la cuenca es una zona de la superficie terrestre donde la precipitación cae sobre ella y donde se drena por un sistema de corriente hacia un mismo punto de salida. Existen dos tipos de cuenca endorreica y exorreica. En la endorreica el punto de salida está dentro de los límites de la cuenca y por lo general es un lago, y por lo contrario en las exorreicas el punto de salida se encuentra en los límites de la cuenca y está en otra corriente o en el mar.

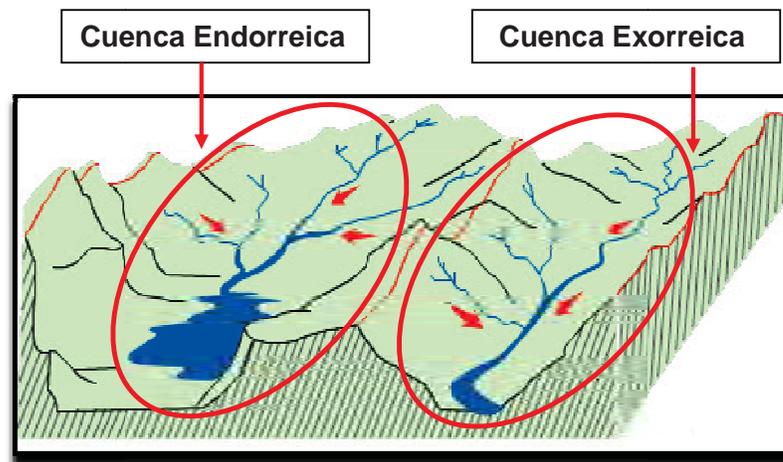


Figura 4.2: Principales tipos de cuencas

Fuente: <http://www.recuperapatzcuarro.info/cuenca.htm>

4.3.1.1. Parteaguas.

Es una línea imaginaria formada por los puntos de mayor nivel topográfico y que separa la cuenca de las cuencas vecinas.

4.3.2. Características fisiográficas de la cuenca.

Estas características influyen en el escurrimiento como son el área, pendiente, elevación, red de drenaje, longitud del cauce principal y pendiente del cauce.

a) Área de la cuenca. Se define como la superficie, en proyección horizontal que la limita el parteaguas.

b) Corriente principal. Es una corriente que pasa por la salida de la cuenca que solamente se aplica en cuencas exorreicas y las demás corrientes de la cuenca se llaman corrientes tributarias.

c) Pendiente del cauce. Es igual al desnivel entre los extremos de la corriente dividido entre su longitud medida en planta.

d) Red de drenaje. Es un arreglo de los cauces de los ríos dentro de una cuenca, ya que da inicio a la eficiencia del sistema de drenaje, dependiendo del suelo y de la topografía. Las características de la red de drenaje se obtienen con el orden de las corrientes, longitud de tributarios, densidad de corriente y densidad de drenaje.

e) Orden de corrientes. Es una clasificación que proporciona el grado de bifurcación dentro de la cuenca, donde se acostumbra denominar corrientes en

orden. Cabe señalar que solo se consideraran las corrientes perennes y las intermitentes.

f) Longitud de tributarios. Señala la pendiente de la cuenca y el grado de drenaje de las áreas escarpadas y bien drenadas que se componen de numerosos tributarios pequeños, mientras que en zonas planas donde los suelos son permeables y profundos los tributarios son largos y generalmente son perennes.

g) Densidad de corriente. Es una relación entre el número de corrientes y el área drenada que determina el número de corrientes donde solo se consideran las perennes e intermitentes.

h) Densidad de drenaje. Es la relación de longitud de corrientes por unidad de área y proporciona una información más real que la densidad de corriente.

4.4. Precipitación.

Es la fuente primaria del agua de la superficie de la tierra, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y su medición forma el punto de partida de los estudios que concierne al uso y control del agua.

a) Gasto. Es un volumen de escurrimiento por unidad de tiempo.

b) Periodo de retorno. Es el tiempo esperado o tiempo medio entre dos sucesos improbables y con posibles efectos catastróficos. Este periodo de retorno depende principalmente de las dimensiones y del tipo de la obra de drenaje. En el caso de alcantarillas, un valor comúnmente empleado del periodo de retorno es de 25 años, y en el caso de puentes de 50 a 100 años.

c) Tiempo de Concentración. El tiempo de concentración para un punto o tramo dado de la red, es definido como el tiempo que tarda una partícula de agua en viajar desde el punto más retirado de la cuenca hasta el extremo aguas arriba de dicho tramo.

4.5. Escurrimiento.

Es el agua que proviene de la precipitación que circula sobre o bajo la superficie terrestre y que se incorpora a una corriente para ser drenada hasta la salida de una cuenca.

4.6. Métodos para cálculo de avenidas máximas.

Con la misma idea de Olivera B. F. (1986), estos métodos se clasifican como empíricos, semi-empíricos, estadísticos y hidro-meteorológicos.

Los métodos empíricos se aplican para obtener el gasto de diseño, cuando no se tengan las características de la precipitación en la zona y se recomienda utilizar los métodos de Creager y Lowry. Los métodos semiempíricos son similares al empírico pero además se toma en cuenta la precipitación y el ciclo hidrológico de la zona para definir el gasto de diseño. Los métodos estadísticos se utilizan solamente para conocer los gastos máximos anuales aforados en una cuenca. Los métodos hidro-meteorológicos se basan en la precipitación máxima probable.

4.6.1. Método racional.

Este método consiste en aplicar la siguiente fórmula:

$$Q = 0.278 * C I A$$

Donde:

Q = gasto en metros cúbicos por segundo.

C= coeficiente de escurrimiento, a dimensional.

I = intensidad de la lluvia para una duración igual al tiempo de concentración, en milímetros por hora.

A = área drenada en kilómetros cuadrados.

0.278 = factor de homogeneidad de unidades.

Esta fórmula se basa en ciertas hipótesis y una de ellas expresa que el gasto producido por una lluvia de intensidad constante sobre una cuenca es máximo cuando la intensidad se mantiene igual o mayor que el tiempo de concentración. Es necesario calcular el tiempo de concentración de la siguiente manera:

$$T_c = 0.0662 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

Tc= tiempo de concentración, en horas.

L= longitud del cauce principal, mas la distancia entre el inicio de este y el parte aguas medida perpendicularmente a las curvas de nivel, en kilómetros.

S= pendiente del cauce, a dimensional, en decimales.

Para determinar la intensidad de diseño se recurre, a las isoyetas de intensidad – duración – frecuencia, para la república mexicana elaborada y publicada por la SCT. Para poder utilizar las isoyetas se considera la duración de la tormenta que es igual al tiempo de concentración y se fija el periodo de retorno en función de la vida útil del proyecto.

El método racional se basa en las siguientes hipótesis:

a) La duración de la precipitación coincide con el tiempo de pico del escurrimiento.

b) Todas las partes de la cuenca contribuyen a la magnitud del pico del escurrimiento.

c) La capacidad de infiltración es constante en todo tiempo.

d) La intensidad de precipitación es uniforme sobre toda la cuenca.

e) Los antecedentes de humedad y almacenaje de la cuenca son despreciables.

Inconvenientes de las hipótesis del método racional.

a) Proporciona solamente una estimación del gasto máximo sin tomar en cuenta la forma del hidrógrama.

b) El cálculo del tiempo de concentración se efectuara mediante formulas aproximadas, ensayadas en regiones que en general no son semejantes a las cuencas en estudio.

4.7. Método de sección y pendiente.

De acuerdo con Olivera B. F. (1986), para conocer la forma en que un canal de agua escurre por un cauce natural o artificial, se necesita hacer un estudio de obras de drenaje, y aplicando el método de sección y pendiente. Este método relaciona las características geométricas del cauce como es el área, la sección transversal, tirante, etc., con las velocidades y gastos. En esta fórmula interviene la sección y pendiente donde tiene un coeficiente que cuya función es cuantificar la influencia que sobre el escurrimiento tiene la forma del cauce, también los tipos de materiales con que será construido.

La metodología especial para resolver estos casos es mediante tanteos, donde se determinan las velocidades medias en dos secciones de control extremas, que se fijan de antemano. En la práctica se debe asignar a la pendiente de cálculo el valor de la superficie del agua donde se supone que el régimen es uniforme. Además se puede mencionar de las formulas que existen para aplicar el método de sección y pendiente, la masa universal empleada y recomendada es la de Manning, por su sencillez al aplicarla y de muchos experimentos que confirman su confiabilidad.

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}}$$

Donde:

V= velocidad. (m/s)

N= coeficiente de rugosidad. (A dimensional)

R= radio hidráulico. (m)

S= pendiente del cauce. (m)

A= área hidráulica. (m²)

Calculo del gasto (m³/s): Q= VA

GASTO HIDRÁULICO (CONDICIONES DE PROYECTO)											
OBRA No.	LOCALIZACIÓN	DIMENSIONES (m)		CANT. TUBOS	ÁREA HCA. (m ²)	PENDIENTE %	PENDIENTE (s)	n	PERÍMETRO MOJADO (m)	RADIO HCO. (m)	Qmáx. (m ³ /s)

Tabla 4.1: Ejemplo de la tabla que se utiliza para el cálculo.

Fuente: Olivera B. F. (1986).

4.8. Drenaje en las carreteras.

Como lo indica el Manual de Proyecto Geométrico Carretero SCT, (1991), el drenaje en los caminos tiene por objeto principal el reducir el agua o escurrimientos que se presenten en el mismo y en segundo término dar salida al agua que llegue al camino de una forma eficiente y segura.

Un camino deberá tener un buen drenaje evitando que el agua circule en grandes cantidades por él, ya que podría destruir el camino ocasionando baches en la carpeta así como evitar que se estanque el agua que debe escurrir en las cunetas y reblandezca a las terracerías ocasionando asentamientos en el camino, al igual es importante que en los cortes de materiales con mala calidad se evite que se saturen

y ocasionen derrumbes o deslizamientos, también es importante que el agua subterránea reblandezca la subterránea.

4.8.1. Tipos de drenaje

Según Olivera B. F. (1986), el agua puede llegar a la explanación corriendo por la superficie o a través del suelo se pueden clasificar en:

1. Drenaje superficial.
2. Drenaje subterráneo

4.8.1.1. Drenaje Superficial.

Se refiere a la evacuación de las aguas libres que corren sobre la vía las que provienen directamente de la lluvia, de escurrimientos naturales o de aguas almacenadas. Este drenaje también trata de evitar que el agua llegue a la vía por medio de obras de protección.

Para facilitar la evacuación del agua sobre la vía se propone una pendiente de bombeo, 1.5% - 2.5%, sobre la misma, la que sirve para evitar que el agua corra longitudinalmente sobre la superficie y la erosione.

El agua superficial generalmente se descarga lateralmente por medio de cunetas las cuales evacuan el agua del área de influencia de la vía y cuya estructura es muy variable, estas cunetas se localizan a la orilla del camino en los cortes o cuando el camino en corte transversal compensa en cortes y rellenos desaguan en las alcantarillas o por medio de canales de salida. Para evitar que el agua llegue a las cunetas, cuando estas tiene una capacidad menor que la necesaria para el gasto

y para evitar el deslave en los cortes se emplean las contracunetas, las que se localizan en las laderas del lado de aguas arriba y a cierta distancia de la orilla de corte, son normales a la línea máxima de la pendiente del terreno es decir quedan paralelas al eje del camino teniendo su desfogue a una distancia alejada del terraplén.

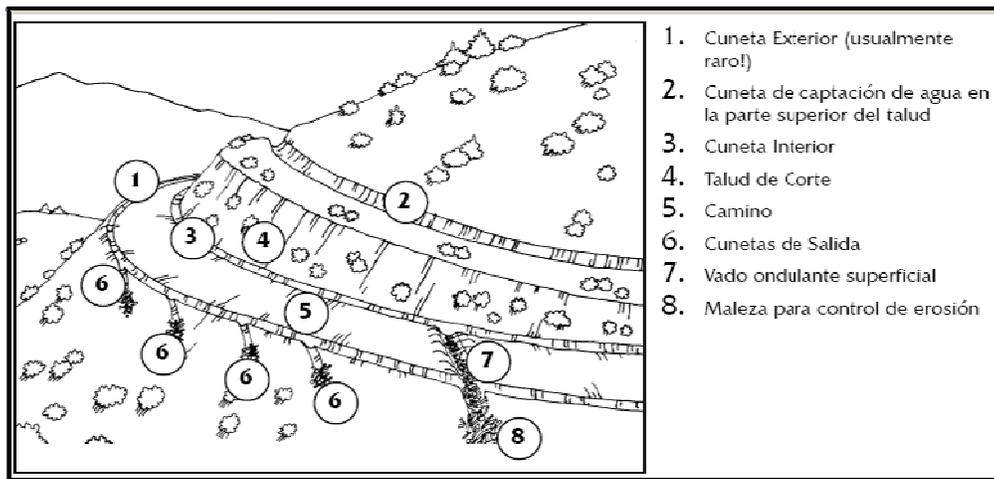


Figura 4.3: Obras de drenaje en un camino.

Fuente: Gordon Keller & James Sherar (2004).

4.8.1.1.1. Cunetas.

De acuerdo con Olivera B. F. (1986), las cunetas son zanjas que se hacen a los lados de un camino o a un sólo lado en caso de curvas, éstas tienen el propósito de recibir y conducir el agua de las precipitaciones que escurre en la corana como también la que escurre en los cortes, es importante que cuando las cunetas pasen de corte a terraplén se prolonguen a lo largo del pie del terraplén para dejar una berma entre dicho pie y el borde de la cuneta con esto se evitara que el terraplén se remoje y tenga un asentamiento. Una consideración importante es el recubrimiento con

concreto hidráulico simple, se construirán con juntas frías cada metro, mediante el colado de las losas en forma alternada y con longitud mínima de un metro.

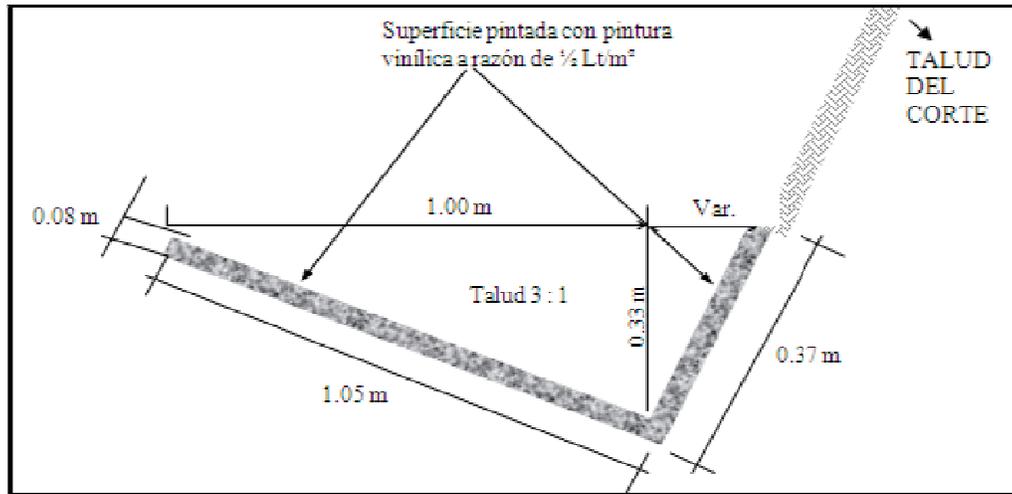


Figura 4.4: Cuneta tipo de un camino.

Fuente: <http://ingenieriacivilapuntos.blogspot.com>

4.8.1.1.2. Contracunetas.

Son zanjas que se hacen en lugares que mejor convengan con el fin de evitar que les llegue más agua a las cunetas pudiendo evitar que exceda su capacidad a la cual este diseñada. Las contracunetas se colocan transversal a la pendiente del terreno y encausan el agua que se dirige al camino alejándola de los cortes y terraplenes, se deberá tener cuidado al construir este tipo de obra ya que pueden ser contraproducentes esto es debido a que como se construyen aguas arriba de los taludes pueden ocasionar derrumbes o reblandecimientos al terreno.

Aspectos importantes a tomar en cuenta:

1. Las contracunetas pueden ser de suelo-cemento.

2. La contra cuneta se ubicara a 5 m con respecto al cero del corte.
3. En laderas la pendiente sera mayor de 30 grados.

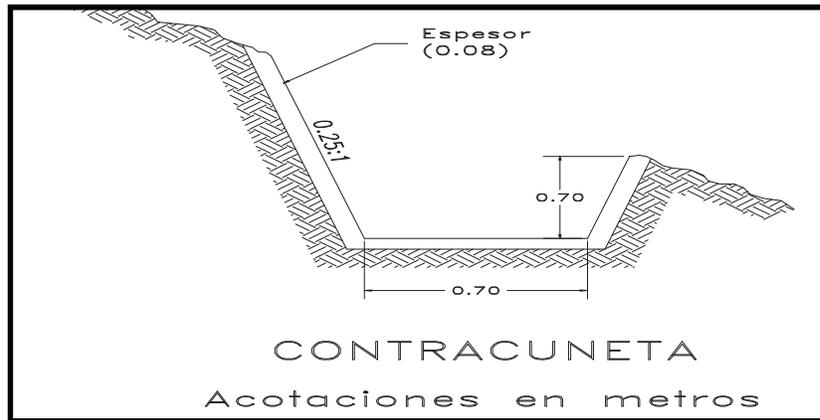


Figura 4.5: Contracuneta tipo.

Fuente: Propia.

4.8.1.1.3. Bordillos.

De igual forma como lo indica Olivera B. F. (1986), los bordillos son elementos que interceptan y conducen el agua que por el efecto del bombeo corre sobre la corona del camino, descargándola en lavaderos, para evitar erosión a los taludes de los terraplenes que están conformados por el material erosionable. Generalmente son contruidos de concreto hidráulico o de concreto asfáltico.

Aspectos a tomar en cuenta en el diseño de los bordillos:

1. Los bordillos solo se construirán en terraplenes mayores de 1.5 m de altura.
2. Los bordillos se ubicaran ambos lados longitudinal en los terraplenes que se encuentren en terraplenes, solo en el acotamiento interno de los terraplenes en curva horizontal y en la zona de terraplén de las secciones de corte en balcón.

3. Se colocaran en el lado exterior del acotamiento y a una distancia de 20 cm del hombro del camino. Además no se construirán bordillos en lavaderos en tramos sin pendiente.
4. En tramos en tangente se dejara un espacio libre para descargar el escurrimiento hacia los lavaderos ubicados a una distancia de 50 y 100 m.
5. Los bordillos tendrán una forma trapezoidal de 16 cm de base inferior, de base superior tendrá 8 cm y de altura 12 cm.

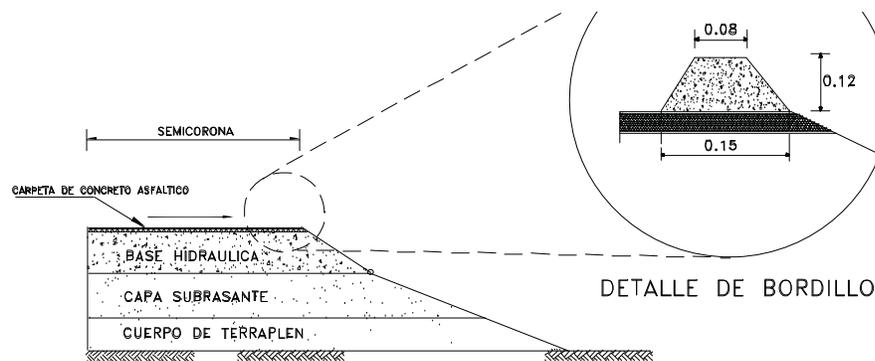


Figura 4.6: Bordillo tipo.

Fuente: Propia.

4.8.1.1.4. Lavaderos.

Son canales que conducen y descargan el agua recolectada por los bordillos, cunetas y guarniciones en lugares donde no causen daño a la estructura del pavimento.

Consideraciones a tomar en cuenta en el diseño de lavaderos:

1. La fabricación puede ser de mampostería o de concreto hidráulico.
2. La forma generalmente es triangular, el objetivo es lograr una depresión con el acotamiento, da mejor entrada del agua al lavadero.

3. Se construirán ambos lados de los terraplenes en tangente y de preferencia en partes de menor altura. En curvas horizontales solo se construirán en talud interno de los terraplenes y en curvas verticales en la parte más baja.
4. En tramos en tangente se colocarán a cada 50 m.
5. Los lavaderos se ubicarán en taludes de los cortes de manera que capten agua desde un punto superior y lo lleven a la parte inferior del corte, descargándola a una caja amortiguadora localizada al pie del lavadero y conectada a una cuneta o alcantarilla que permita el paso del escurrimiento.
6. Donde se asentara el lavadero deberá estar exento de raíces, piedras salientes, oquedades etc. Además se prolongarán hasta desfogar el terreno natural o en la alcantarilla más cercana.

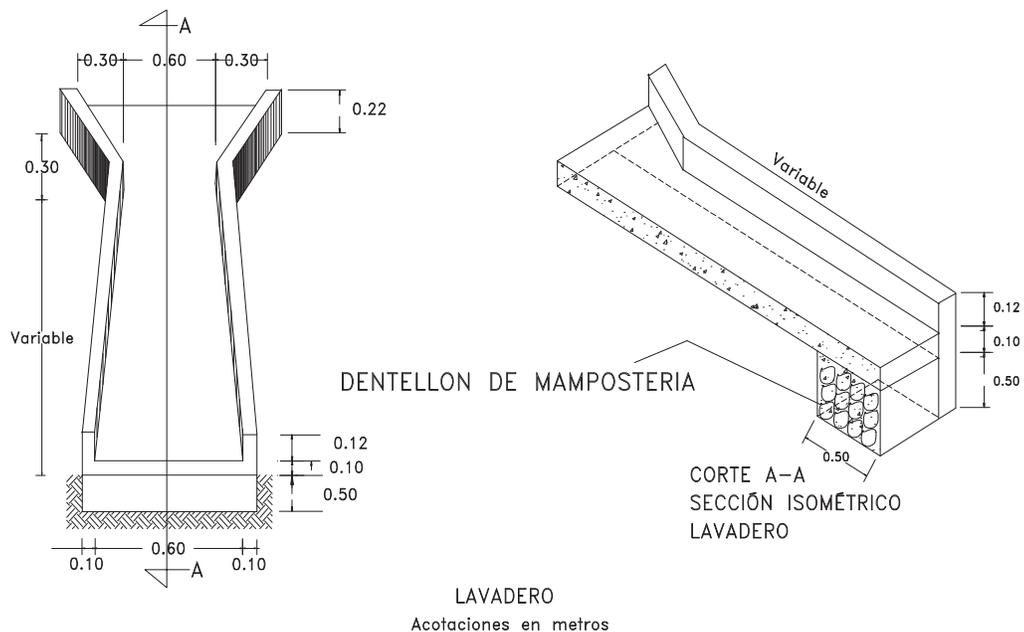


Figura 4.7: Lavadero.

Fuente: Propia.

4.8.1.1.5. Bombeo.

Olivera B. F. (1986), señala que el bombeo es la pendiente transversal que se le da a ambos lados de un camino, para drenar la superficie del mismo, evitando que el agua se encharque o que corra por la superficie ocasionando la erosión o el reblandeciendo. Este tipo de obra tiene el propósito de desfogar una corriente de agua, el cual es una cubierta o delantal de mampostería de concreto o de piedra acomodada simplemente, es por donde se encausa el agua de los taludes o terraplenes o terrenos muy erosionables llevándola hasta donde la erosión no pueda afectar en ninguna forma al camino. En terrenos con alta pendiente es importante anclar estas obras con dentellones para evitar que se resbalen.

4.8.1.1.6. Alcantarillas.

De acuerdo con Olivera B. F. (1986) y Crespo Villalaz (2010), las alcantarillas son estructuras transversales de forma diversa que permiten el cruce de aguas bajo la vía terrestre, son diseñadas de tal manera que tengan capacidad suficiente para desalojar rápidamente el agua que llegue a ellas. Por otra parte, las alcantarillas deben de resistir el peso de los rellenos y, por último, soportar las cargas que producen el tránsito vehicular.

Para estas estructuras se recomiendan que se cumplan las siguientes condiciones:

1. Ser elementos contruidos en base a diseños tipo que prevean dimensiones variable dentro de determinados rangos, en cuento a sección, largo, profundidad de fundación, pendiente, esviaje, etc.
2. Luz o claro menor de seis metros, o luces múltiples contiguas de total inferior de 12 m.
3. Largo de la estructura que permita el desarrollo total de coronamiento de la obra básica.
4. Recubrimiento de terraplén sobre la losa, no siendo utilizada por lo tanto su parte superior como superficie de rodamiento.

4.8.1.1.6.1. Consideraciones generales de diseño.

Así como lo dice Olivera B. F. (1986), el objetivo fundamental de su diseño hidráulico es determinar el diámetro más económico por el que puede pasar la descarga de diseño, sin exceder la elevación permisible de la cabecera. Los componentes principales de una alcantarilla son su entrada, y su salida, con el dissipador de energía. Su colocación y ubicación en los desagües de cunetas, curvas verticales cóncavas y en las partes más bajas según el perfil longitudinal.

4.8.1.1.6.2. Elección del tipo de alcantarilla.

En la elección del tipo de alcantarilla se deben tomar en cuenta la adecuada funcionalidad hidráulica y estructural, y el aspecto económico que está condicionado por los siguientes factores.

- Altura del terraplén.
- Forma de la sección en el cruce.
- Pendiente de la plantilla de la obra.
- Capacidad del suelo.
- Materiales de construcción disponibles en la región.

En cuanto a la altura del terraplén se debe tener presente que los tubos y bóvedas necesitan un colchón mínimo de terraplén en los hombros de 0.60 m y 1.00 m, respectivamente, en cambio las losas y los cajones pueden quedar a la altura de la rasante del camino.

Si la sección del escurrimiento del cauce natural es amplia, se pensará en una losa de poca altura pero de claro amplio, o en uno o varios tubos. Donde los cauces son bien definidos, por ejemplo en terreno de lomerío suave se pueden usar tubos o cajones; a medida que las secciones de los cauces se hacen estrechas y profundas, las obras indicadas son las bóvedas, además de las losas y los tubos dependiendo principalmente de la altura del terraplén.

Es necesario distinguir el tipo de alcantarilla tomando en consideración la función específica de la misma, donde unas están sujetas a dar continuidad a flujos intermitentes y efímeras con cauces totalmente definidos y otras sujetas a encauzar el cauce acumulado de las cunetas cada cierto tramo denominadas alcantarillas de alivio.

4.8.1.1.7. Tipos de alcantarillas.

Existen varios tipos de alcantarillas y de diferentes formas, las alcantarillas que mayormente se utilizan en carreteras son los tubos y losas, las cuales dependiendo del estudio hidráulico e hidrológico se proceden a diseñar.

1. Tubos. Según Crespo Villalaz (2010), las alcantarillas son usualmente de sección circular y requieren un espesor de terraplén o colchón mínimo de 0.60 m, para mejorar el funcionamiento de la estructura. El material con que están contruidos puede ser de concreto reforzado, lamina ondulada y tubo corrugado de polietileno de alta densidad.

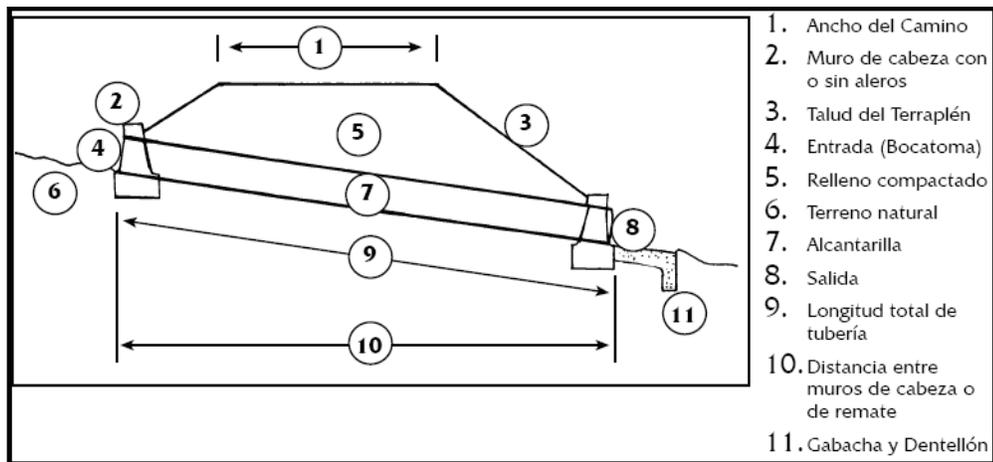


Figura 4.8: Alcantarilla tipo para una obra de drenaje.

Fuente: Gordon Keller & James Sherar (2004).

2. Losas sobre estribos. Son losas de concreto reforzado que se apoyan por dos muros de mampostería de tercera con mortero y cemento 1:5 sobre los que se apoyan una losa de concreto reforzado. Cuando la resistencia del suelo sea baja se apoyaran en estribos mixtos, con el muro de mampostería y el cimientto de concreto

de tercera clase. El descimbrado se hará a los 21 días y mientras que el zampeado del piso y los dentellones aguas arriba y abajo, protegerá el suelo contra la erosión.

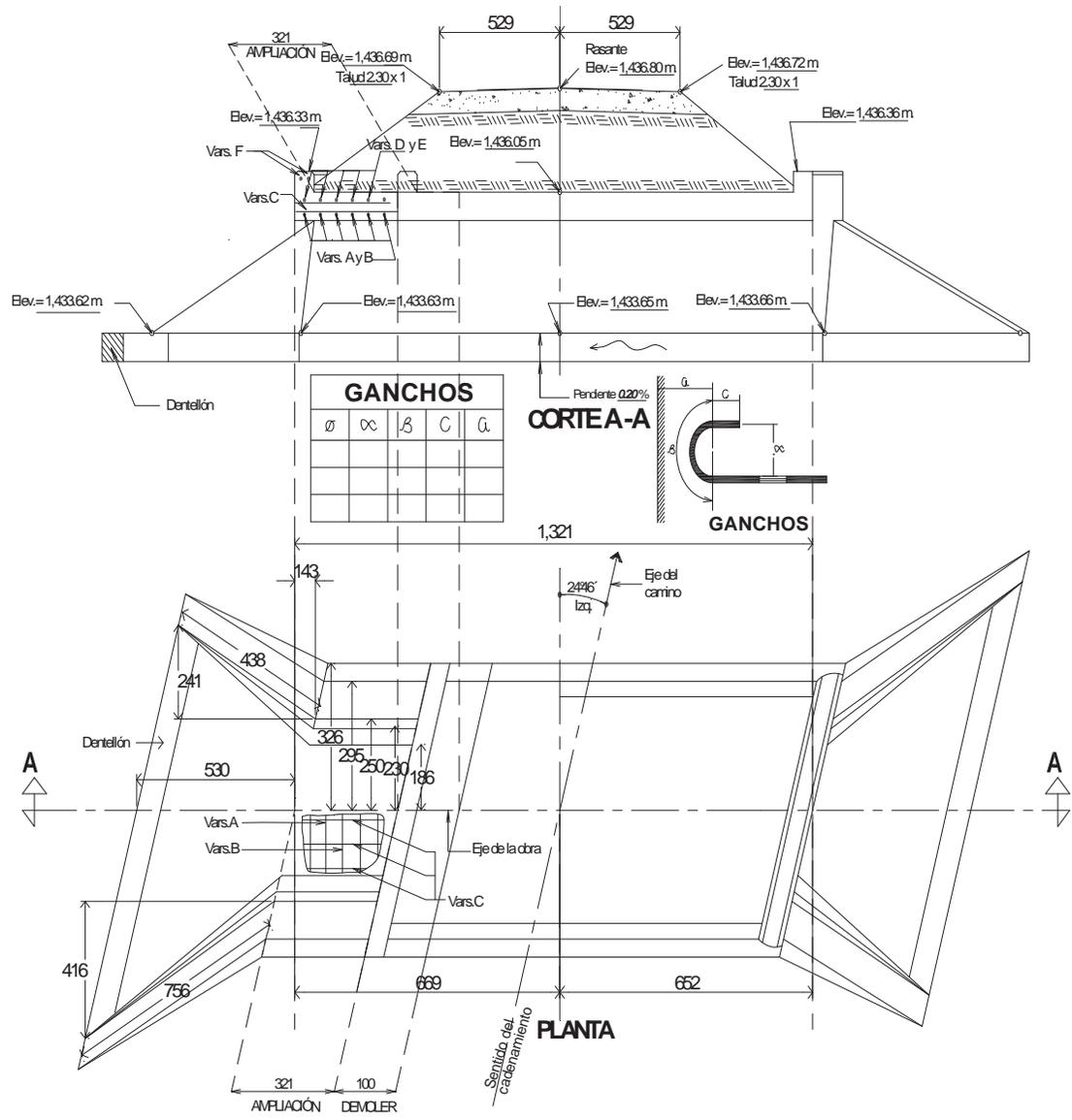


Figura 4.9: Losa tipo para una obra de drenaje.

Fuente: Propia.

4.8.1.2. Drenaje subterráneo.

Según Crespo Villalaz (2010), en este drenaje se tiene que conocer con exactitud por donde puede llegar el agua a la zona que se trata de proteger, es muy importante dejar establecido que en el subsuelo se encuentra el agua de gravedad o sea la que corre obedeciendo a dicha ley y que forma la capa de agua única, agua que puede drenarse y el agua capilar que es la humedad que sube obedeciendo a las leyes de capilaridad y no puede drenarse. Esta distinción es fundamental para evitar la construcción de subdrenes costosos e inútiles. El drenaje subterráneo se basa principalmente en un sistema colector de aguas, utilizado a fin de eliminar las presiones de filtración, reducir el peligro de la acción dañina de las heladas, aumentar la resistencia al corte del suelo por reducción de las tensiones neutras, disminuir el humedecimiento por capilaridad de la estructura de la carretera, absorber el flujo de algunos manantiales.

4.8.1.2.1. Zanjas.

Las zanjas se hacen comúnmente aguas abajo del camino construido y paralelas a él. Estas zanjas generalmente son de 0.60m de ancho y de 0.90 a 1.20m de profundidad y son utilizadas para abatir el nivel de aguas freáticas.

4.8.1.2.2. Drenes ciegos.

Estas son zanjas rellenas con piedra quebrada o grava y son muy empleados, se colocan paralelas al camino y bajo las cunetas usualmente son de 0.45m de ancho y 0.60 a 0.90m de profundidad. Para que funcionen adecuadamente

es necesario dar una pendiente adecuada, una buena graduación de los materiales y un desfogue correcto.

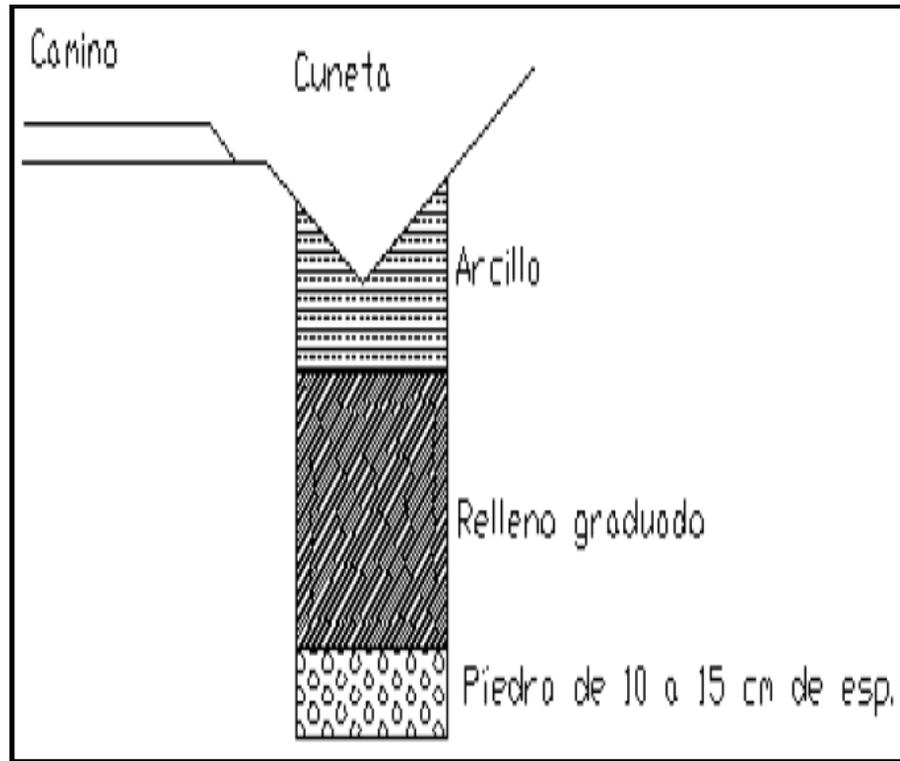


Figura 4.11: Dren ciego tipo.

Fuente: Gordon Keller & James Sherar (2004).

CAPÍTULO 5

PAVIMENTACIÓN

En el presente capítulo se aborda el tema de la pavimentación, por lo cual se definirán los conceptos que la integran, así como dos de los métodos de cálculo más usuales en la actualidad, como son el Método de la ASSTHO y el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM.

5.1. Aspectos fundamentales para la pavimentación.

Con respecto a lo que dice Manuel Zárate Aquino (2003), se puede definir a los pavimentos como la forma de un sistema que funciona obedeciendo determinadas leyes físicas. Estas leyes indicarán la manera como se relacionan los esfuerzos, deformaciones unitarias, tiempo y temperatura. El pavimento está caracterizado por las propiedades de espesores y disposición de los materiales que forman un conjunto de capas superpuestas, que tienen de gran importancia las especificaciones, la calidad de la construcción, la supervisión de la obra y el control de calidad ejercido.

Las cargas aplicadas por los vehículos, generan respuestas mecánicas inmediatas que se identifican como estados de esfuerzos de deformaciones unitarias y de deflexiones que son en función del tiempo y del espacio, y se caracterizan por ser acumulativos, progresivos, permanentes e interactuantes; a estos efectos se les pueden conocer como agrietamientos, deformaciones, desintegración y reducción en

la resistencia al derrapamiento. En estos momentos es considerado que ya no es capaz de cumplir con su función y ha llegado el final de su vida.

Para que un pavimento desempeñe una buena función debe satisfacer los siguientes atributos:

1. "Regularidad superficial longitudinal y transversal.
2. Resistencia adecuada al derrapamiento en todo tiempo.
3. Rápida eliminación del agua sobre la superficie.
4. Capacidad para soportar las cargas.
5. Bajo nivel de ruido.
6. Bajo nivel de desgaste de las llantas del vehículo.
7. Adecuadas propiedades de reflexión luminosa.
8. Apariencia agradable.

De esta manera el proyecto, las especificaciones la supervisión y el control de calidad actuarán de manera conjunta, para alcanzar un objetivo que es el cumplimiento de los atributos de calidad" (Aquino; 2003:19,21).

5.2. Factores para considerar en el proyecto.

Según Manuel Zárate Aquino (2003), el proyecto del pavimento desde el punto de vista de la funcionalidad y resistencia de la estructura debe tener un costo global

mínimo este incluye los costos de construcción, conservación, rehabilitación y operación de un periodo general de 15 a 40 años.

Para el diseño y dimensionamiento de los pavimentos existen varios métodos, cuya aplicación se basa principalmente en los siguientes factores:

1. Tránsito. Constituye el principal factor para el diseño. Las cargas más pesadas por eje son el simple, tándem o triple, consideradas en un carril durante el periodo del proyecto. La repetición de cargas y la acumulación de sus efectos sobre el pavimento, como la fatiga o la deformación permanente, son las características fundamentales para el cálculo.

2. Capa subrasante. Es la capa de apoyo de la estructura del pavimento, donde se emplea la capacidad de soporte o resistencia a la deformación por esfuerzo cortante bajo las cargas del tránsito. Además se deben considerar la sensibilidad del suelo a la humedad, refiriéndose a la expansión y contracción. El parámetro de resistencia utilizado para caracterizar los materiales es el valor relativo de soporte.

3. Clima. Es un factor aun no suficientemente considerado en el diseño. En el diseño del pavimento es importante saber el comportamiento bajo efectos de temperatura y humedad, esto es con el objetivo de saber las temperaturas extremas diarias y estacionales, así como la intensidad de la precipitación, y aspectos que afectan a los aspectos constructivos.

4. Materiales disponibles. Son importantes para la selección de la estructura del pavimento en técnica y económicamente. En los bancos de materiales más

cercanos a la zona se pueden considerar los agregados disponibles, incluyendo la calidad requerida y la homogeneidad de los materiales.

5. Drenaje y Subdrenaje. El agua es uno de los factores que más contribuye en el deterioro de los pavimentos, por lo que se deberá desalojar rápidamente, evitando concentraciones en la superficie como en alguna de las capas que constituyen al pavimento incluyendo la subrasante. Un mejor comportamiento del pavimento es donde el ingeniero puede reconocer que el agua puede entrar a la estructura del pavimento de varias maneras como en grietas, baches, o en juntas y de otra manera en jardineras, camellones, fugas en los sistemas de drenaje, ascensión capilar y posición del nivel freático. De esta manera el agua puede modificar las capas de pavimento alterando algunas de sus propiedades como son: resistencia al esfuerzo cortante, cohesión, expansión, contracción, erosión, grado de compactación, envejecimiento de los asfaltos, adherencia entre agregados y efecto de congelamiento-deshielo.

En estos puntos anteriores se deberán tomar las medidas pertinentes para proponer un sistema de drenaje y subdrenaje que actúen con efectividad conduciendo y desalojando el agua.

En el drenaje superficial se deberán tomar en cuenta los siguientes aspectos:

1. La pendiente transversal del pavimento deberá ser por lo menos del 1%.
2. No se deberán admitir depresiones en la superficie esto es con el objetivo de evitar estancamientos de agua.

3. La textura superficial debe facilitar la expulsión rápida del agua de manera transversal.

4. Se deberán evitar obstáculos que faciliten el encharcamiento del agua en las bocas de tormenta, lavaderos, cunetas y alcantarillas.

5. Las juntas de construcción en el pavimento se deberán tratar con un cuidado especial, con el objetivo de impedir la filtración del agua a las capas inferiores.

6. Otro punto muy importante que se deberá tomar en cuenta es que el agua en el pavimento puede ocasionar una pérdida de contacto entre la llanta y la superficie de rodamiento provocando la pérdida de control de la dirección del vehículo. A este fenómeno se le conoce como hidropneumático o acuapneumático. Generalmente ocurre cuando se conduce el vehículo bajo la lluvia a gran velocidad formándose una lámina de agua sobre la superficie. Para reducir o evitar que ocurra este fenómeno los pavimentos deberán tener una textura superficial compatible con el ambiente, velocidad de circulación, intensidad del tránsito, topografía y características geométricas de la vialidad.

5.3. Materiales empleados para los pavimentos.

Como señala Manuel Zárate Aquino (2003), los materiales básicos más utilizados en la construcción de las diversas capas del pavimento son:

1. "Suelos granulares seleccionados.

2. Agregados naturales, cribados o triturados parcialmente.

3. Agregados producto de trituración total y cribados.

4. Agregados procedentes de proceso de reciclado.

5. Productos asfálticos como cementos y emulsiones, con o sin agentes modificadores, cemento portland, cal, agua, productos geosintéticos, como geotextiles, geomallas, geodrenes, etc” (Zárate; 2003:27).

Los suelos y agregados, incluyendo los productos cementantes, estabilizadores y modificadores, se utilizan para construir los siguientes elementos:

1. Capas de agregados granulares como subbase, bases, capa subrasante.

2. Materiales granulares estabilizados o tratados, son estabilizados con cemento, cal, o productos asfálticos.

3. Tratamientos superficiales y riegos asfálticos, que comprenden los riegos de impregnación, liga y sellado, las lechadas asfálticas, morteros asfálticos, carpetas delgadas de granulometría abierta, etc.

4. Mezclas asfálticas, como mezclas en caliente y en frío, mezclas densas o de granulometría abierta.

5.4. Tipos de pavimentos.

De acuerdo con Manuel Zárate Aquino (2003), hoy en día se cuenta con una gran variedad de pavimentos, siguiendo los criterios tradicionales, suele clasificarse en dos grandes grupos que son flexibles y rígidos. Los pavimentos flexibles están formados por capas constituidas por materiales con una resistencia a la deformación

que esta es decreciente respecto a la profundidad. También se puede decir que cuenta con una capa de rodamiento constituida por mezcla asfáltica.

En cambio los pavimentos rígidos están formados de losas de concreto hidráulico de mayor rigidez que a su vez distribuyen las cargas verticales sobre una área grande, en juntas sin pasa juntas y en bordes de losas las deformaciones son pocas.

Los pavimentos mixtos están formados por una capa de concreto hidráulico, y cubierta por una carpeta asfáltica, estas se llegan a emplear en calles con presencia de redes y servicios bajos de vialidad y también en donde se impide realizarse excavaciones de mayor profundidad.

5.5. Elementos que componen a los pavimentos flexibles y sus funciones.

Estos pavimentos están constituidos por varias capas de arriba hacia abajo llamadas carpeta, base y subbase, de acuerdo con Zárate Aquino (2003).

La carpeta. Es la capa que soporta directamente las cargas que transmite el tránsito. Su principal objetivo es absorber los esfuerzos horizontales y parte de los verticales, en tránsito de alta intensidad los espesores de las capas suelen ser mayores que los comunes y estos pavimentos son construidos por mezclas asfálticas en frío o en caliente. Cuando el espesor de la carpeta supera los 8 cm es recomendable dividir su construcción por capas.

Base. Es la capa situada bajo la carpeta su función es absorber la mayor parte de los esfuerzos verticales y de tener una rigidez a la deformación de la carga

permitida por el tránsito. Para el tránsito medio o ligero se realizan las tradicionales bases granulares y para tránsito pesado se realizan y se emplean materiales granulares tratados como un cementante llamadas bases de grava cemento.

Subbase. Es la capa que está sobre la subrasante y debajo de la base, cuando la subrasante es de elevada capacidad de soporte llega a ser no necesaria. Su principal función es proporcionar un cimiento uniforme y también de que cumpla una función drenante para lo cual sus materiales a utilizar carecerán de finos.

5.6. Métodos de diseño de pavimentos flexibles.

Atendiendo a lo que menciona Manuel Zárate Aquino (2003), los métodos actuales de diseño de pavimentos se basan hacia un concepto mecanístico-empírico, esto se hace con el fin de tener modelos estructurales para calcular las respuestas de los pavimentos y para predecir el comportamiento del pavimento. Estos modelos estructurales intervienen los aspectos teóricos que comprenden esfuerzos, deformaciones unitarias y deflexiones así también como mencionando la temperatura y el tiempo, a base de herramientas modernas como el método de elemento finito y los programas de cómputo, que consideran sistemas elásticos multicapa.

5.7. Metodología general del diseño mecanístico-empírico.

Desde el punto de vista de Zárate Aquino (2003), esta metodología asume que los materiales son conocidos anticipadamente y que solo sus espesores están sujetos a iteraciones de diseño. Y si los espesores propuestos no satisfacen los requisitos de diseño, será entonces necesario cambiar los tipos y propiedades de los materiales a utilizar.

a) Configuración del pavimento. Se hace una suposición de una configuración del pavimento incluyendo el número de capas, su espesor y el tipo de material. Esto se hace con base a la experiencia, y ayudándose con catálogos de secciones estructurales para pavimentos. Una de las especificaciones de los materiales puede ser la AASHTO.

b) Caracterización de los materiales. El módulo de resiliencia es una propiedad básica de los materiales que conforman las capas de un pavimento y que es definida como una medida de las propiedades elásticas de un suelo, según la AASHTO este modulo de resiliencia está llamado a sustituir el valor relativo soporte por la razón siguiente. Es una propiedad mecánica que se puede usar en análisis de sistemas de capas múltiples, para predecir diferentes tipos de deterioros, agrietamientos, deformaciones permanentes, rugosidad, etc.

c) Modelos climáticos. Estos fenómenos hoy en día no son suficientemente considerados en el método de diseño por lo que es frecuente que solo se tome en cuenta la temperatura y el agua. Si estos dos elementos en el pavimento varían considerablemente durante el año, es necesario considerar diferentes valores para el modulo de resiliencia en cada una de las capas. La utilización práctica de los modelos climáticos necesita la determinación de ciertos parámetros como los datos climáticos y las propiedades térmicas de los materiales. Los datos climáticos incluyen las temperaturas del aire diarias máximas y mínimas, la velocidad del viento y el porcentaje de insolación, por otro lado las propiedades térmicas incluyen la conductividad térmica, el calor específico y el punto de fusión. El módulo de elasticidad de la carpeta asfáltica depende de la temperatura del pavimento, que

varia durante el año e inclusive durante el día, mientras que los módulos de la base, subbase y subrasante varían considerablemente con los cambios en sus contenidos de agua.

d) Condiciones de tránsito. Se subdivide el tránsito en un cierto número de grupos, cada uno con diferentes configuraciones como es el peso y el número de repeticiones. El peso, la configuración, separación entre ejes, el radio y la presión de contacto son variables en los modelos estructurales, mientras que el número de repeticiones se usa para modelos de deterioro.

e) Respuesta del pavimento. Ante la carga que está dada en términos de esfuerzos, deformaciones permanentes y deflexiones es obtenida a partir de modelos estructurales. Por lo general hay cuatro indicadores más importantes del comportamiento de un pavimento flexible que son la deflexión superficial, la deformación a la tensión en la carpeta asfáltica, los esfuerzos en la subrasante y deformaciones de compresión en la subrasante.

f) Análisis de confiabilidad. Ya que existen diferentes características de los materiales es necesario realizar un análisis de confiabilidad en el proyecto, que pueden ser por el método determinístico y probabilístico. El determinístico actúa asignando variables de seguridad altas donde la incertidumbre sea alta o también donde exista mucha influencia en el diseño final y el otro método probabilístico es donde se le asigna un valor medio de diseño y un coeficiente de variación.

g) Modelos de deterioro. Este modelo es principalmente considerado en el agrietamiento debido a la fatiga, a las deformaciones permanentes y la rugosidad. Si

la confiabilidad para un cierto deterioro es menor que el nivel mínimo por lo tanto la configuración del pavimento deberá modificarse y comenzar una nueva iteración, hasta obtener el nivel requerido. Para evaluar el potencial del agrietamiento, una vez que el diseño de espesores ha terminado, si es alto o insatisfactorio debe utilizarse un cemento asfáltico más blando. Si además se considera que las deformaciones permanentes de las capas asfálticas son la principal componente de la deformación debido al alto tránsito o a en donde los espesores de carpeta son grandes se deberá evaluar el potencial de deformaciones permanentes esperado ósea debe modificarse el diseño de la mezcla asfáltica.

h) Modelos de agrietamientos por fatiga. El modelo más utilizado es propuesto por Miner, que se utiliza para predecir el agrietamiento por fatiga, donde es considerado que el número permisible de repeticiones de carga está relacionada con el valor de la deformación unitaria por tensión en el lecho inferior de las capas asfálticas. La cantidad de daño es la relación entre los números de repeticiones esperadas y las permisibles, cuando la relación es igual a 1, el daño se produce.

i) Modelos de deformación permanente. Este procedimiento consistirá en dos clases, el primero consiste en limitar únicamente la deformación vertical de compresión, en la superficie superior de la capa subrasante mientras que el segundo limita la deformación permanente acumulada total en la superficie, debida a cada una de las capas del pavimento.

j) Diseño final. Se obtiene cuando la configuración del pavimento y las propiedades de los materiales satisfacen los requisitos de confiabilidad, para cada

tipo de deterioro. Cabe mencionar que los métodos de diseño han simplificado los procedimientos de aplicación presentando tablas, nomogramas y elementos de cálculo relativamente sencillos, además de programas de computadora. Los conceptos más importantes que deben ser tomados son:

1. Mayores niveles de seguridad y comodidad para el usuario.
2. Materiales y superficies de rodamiento más durables y resistentes.
3. Requerimientos de mínima conservación.
4. Menor nivel de ruido dentro de la carretera y en el entorno.
5. Mejor apariencia.

A continuación se describirán los métodos de diseño que se utilizaran para el cálculo del pavimento, como el método de la AASHTO y el Método del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México.

5.8. Método de la AASHTO para pavimentos flexibles.

Zárate Aquino (2003), refiere que este método de diseño está basado en ecuaciones de regresión. En la actualidad está adquiriendo un carácter mecanístico al introducirse en el procedimiento conceptos como los módulos de resiliencia y elásticos de los materiales. Este método parte de determinar el número estructural, SN, que es necesario para que el pavimento pueda soportar las cargas o solicitaciones. La ecuación original de regresión ha sido modificada, principalmente en los valores de las constantes de regresión, con base a la experiencia. La ecuación para pavimentos flexibles presentada en 1993 es la siguiente:

$$\log_{10} W_{18} = Z_R * S_0 + 9.36 * \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4.2 - 1.5} \right]}{0.40 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5.19}}} + 2.32 * \log_{10} M_R - 8.07$$

En donde:

W_{18} = Número admisible de ejes equivalentes de 18000 lb.

Z_R = Desviación normal estándar.

S_0 = Desviación estándar integral.

SN = Número estructural del pavimento, $SN = a_1 D_1 + a_2 D_2 m_2 + a_3 D_3 m_3$.

ΔPSI = Diferencia entre los índices de servicio inicial y terminal, $(p_o - p_t)$.

p_o = Índice de servicio inicial.

p_t = Índice de servicio terminal.

M_R = Modulo de resiliencia.

m_2, m_3 = Coeficientes de drenaje para las capas de base y subbase.

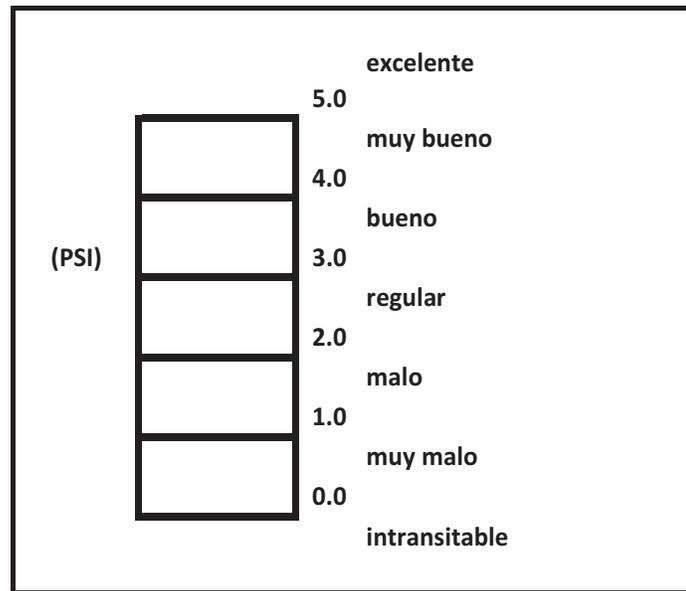
a_1, a_2, a_3 = Coeficientes de capas representativos de la carpeta, base y subbase.

D_1, D_2, D_3 = Espesores de las capas de carpeta, base y subbase en pulgadas.

Para facilitar la utilización de la formula se ha preparado un nomograma, adaptado a unidades en el sistema ingles.

Los siguientes factores que intervienen en la ecuación, que serán de utilidad para el diseño del pavimento.

a) Serviciabilidad-índice de servicio. Según la AASHTO se define como su habilidad para proporcionar un servicio adecuado al tipo de tránsito. En función del grado de deterioro del pavimento, manifestado principalmente por la rugosidad de la superficie se tomarán los valores cuyos rangos van del 0 al 5 de la escala siguiente:



Escala del índice de servicio actual (PSI).

El índice de servicio inicial, p_0 , representa la condición del pavimento después de su construcción o rehabilitación. Con las técnicas modernas de construcción se han alcanzado valores iniciales de 4.7 a 4.8, por lo que se recomienda tomar un valor de 4.5 para el diseño cuando se carezca de información. El índice de servicio terminal p_t , es cuando el nivel de servicio del pavimento requiera de algún tipo de rehabilitación para iniciar un nuevo ciclo de vida para este valor se relacionan la importancia de la carretera o el elemento, con la ayuda de la tabla 5.1 se podrán determinar los valores típicos recomendados para diferentes tipos de utilización,.

Tabla 5.1. Valores terminales típicos para el índice de servicio terminal	
Pt	Clasificación
3.00	Autopistas
2.50	Carreteras principales, arterias urbanas.
2.25	Carreteras secundarias importantes, calles comerciales e industriales
2.00	Carreteras secundarias , calles residenciales y estacionamientos

Tabla 5.1: Valores típicos para el índice de servicio terminal

Fuente: Zárate Aquino (2003).

b) Tránsito, W-18. El método AASHTO requiere la transformación a ejes sencillos de 82 kN, de diferentes pesos y configuraciones. Para ello se han creado una serie de tablas con factores de conversión que sus factores dependen el tipo de pavimento, tipo de eje, magnitud de la carga en el eje, índice de servicio final. Para determinar el número de ejes acumulados equivalentes de 82 kN se debe conocer las características del tránsito, esto es, número y tipos clasificándolos de acuerdo a su tipología, el método aconseja a utilizar la siguiente expresión:

$$W_{18} = D_D * D_L * w_{18}.$$

En donde:

W_{18} = es el tránsito acumulado en el primer año, en ejes acumulados sencillos, de 82 kN, en el carril de diseño.

D_D = es el factor de distribución direccional, 50% en general.

w_{18} = son los ejes acumulados equivalentes en ambas direcciones.

D_L = es el factor de distribución del carril.

Se deberá tomar en cuenta la distribución del tránsito de manera transversal, tomando en cuenta el número de carriles, a partir de lo indicado de la siguiente tabla 5.2.

Tabla 5.2. Factor de distribución por carril	
Número de carriles en cada dirección.	Porcentaje del número de ejes equivalentes en el carril de diseño.
1	100
2	80-100
3	60-80
4	50-75

Tabla 5.2: Factores de distribución por carril.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

Una vez calculados los ejes equivalentes acumulados en el primer año se deberá calcular el número de ejes equivalentes acumulados para el periodo de diseño con base a la tasa de crecimiento anual.

c) Tipología de vehículos. En la tabla 5.3 se indican los diferentes tipos de vehículos autorizados por la SCT.

Tabla 5.3. Tipología de vehículos autorizados por la SCT para circular por las vialidades nacionales.						
Vehículo	Designación	Peso por eje, tonelada				
		1	2	3	4	5
Automóviles.	A2	1	1			
Camión ligero con capacidad de carga hasta de 3 toneladas.	A`2	1.7	3.8			
Autobús de dos ejes	B2	5.5	10.0			
Autobús de tres ejes	B3	5.5	14.0 D			
Autobús de cuatro ejes	B4	7.0 D	14.0-D			
Camión de dos ejes	C2	5.5	10.0			
Camión de tres ejes	C3	5.5	18.0-D			
Camión de dos ejes	C4	5.5	22.5-T			
Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje.	T2-S1	5.5	10.0	10.0		
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos eje.	T2-S2	5.5	10.0	18.0-D		
Tractor de tres ejes con semirremolque de dos eje.	T3-S2	5.5	18.0-D	18.0-D		
Tractor de tres ejes con semirremolque de tres eje.	T3-S3	5.5	18.0-D	22.5-T		
Camión de dos ejes con remolque de dos ejes.	C2-R2	5.5	10.0	10.0	10.0	
Camión de tres ejes con remolque de dos ejes.	C3-R2	5.5	18.0-D	10.0	10.0	
Camión de tres ejes con remolque de tres ejes.	C3-R3	5.5	18.0-D	10.0	18.0-D	
Tractor de dos ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes.	T2-S1-R2	5.5	10.0	10.0	10.0	
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos eje y remolque de dos ejes.	T2-S2-R2	5.5	10.0	18.0-D	10.0	10.0

Tabla 5.3: Tipología de vehículos autorizados por la SCT.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

Tabla 5.3. Tipología de vehículos autorizados por la SCT para circular por las vialidades nacionales.						
Vehículo	Designación	Peso por eje, tonelada				
		1	2	3	4	5
Tractor de tres ejes con semirremolque de un eje y remolque de dos ejes.	T3-S1-R2	5.5	18.0-D	10.0	10.0	10.0
Tractor de dos ejes con semirremolque de dos eje y remolque de dos ejes.	T3-S2-R2	5.5	18.0-D	18.0-D	10.0	10.0
Tractor de tres ejes con semirremolque de dos eje y remolque de tres ejes.	T3-S2-R3	5.5	18.0	18.0	10.0	18.0
Tractor de tres ejes con semirremolque de dos eje y remolque de cuatro ejes.	T3-S2-R4	5.5	18.0	18.0	18.0	18.0

D = eje doble o tandem

T = eje triple o tridem

Tabla 5.3: Tipología de vehículos autorizados por la SCT.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

d) Periodo o ciclo de proyecto. Por lo general se consideran periodos de diseño de 10 a 20 años, por lo cual se espera que el pavimento alcance el índice de servicio terminal. Para dicho periodo se tomara de la tabla 5.4.

Tabla 5.4. Periodos o ciclos de proyecto de acuerdo con el tipo de vialidad.	
Tipo de vialidad	Periodo de proyecto, años.
Urbana, con elevado nivel de tránsito.	30-50
Principal, con elevado nivel de tránsito.	20-50
Secundaria, con bajo nivel de tránsito.	15-25

Tabla 5.4: Ciclo de proyecto de acuerdo a la vialidad.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

e) Volumen de tránsito y tasa de crecimiento. El número inicial de vehículos que opera en el pavimento es proporcionado por el organismo que requiere el proyecto, así también como la respectiva tasa de crecimiento. En el apéndice D de la guía AASTHO de referencia se presentan lineamientos útiles para tal objeto, en este apéndice se plantea recurrir a factores de incremento de tránsito para diferentes tasas de crecimiento desde 0 a 10 y periodo de análisis de 1 a 35 años. Estos factores propuestos son multiplicados por el volumen de tránsito inicial, que proporcionara el volumen total de tránsito esperado en el periodo de análisis.

f) Coeficientes de drenaje (C_d). Es importante reconocer la importancia del drenaje, para ello se hace intervenir un coeficiente (m_i), donde tome en cuenta las condiciones buenas o malas del drenaje en el diseño del pavimento. Para seleccionar este coeficiente se considerara la saturación a la que este expuestas las capas de subbase y capa subrasante, consultando la tabla 5.5.

Tabla 5.5. Valores recomendados del coeficiente de drenaje (m_i), para el diseño de pavimentos flexibles.				
Condición del drenaje	Porcentaje del tiempo en que la estructura del pavimento se encuentra expuesta a niveles de humedad cercanos a la saturación.			
	< 1%	1 - 5%	5 - 25%	> 25%
Excelente	1.40-1.35	1.35-1.30	1.30-1.20	1.20
Buena	1.35-1.25	1.25-1.15	1.15-1.00	1.00
Regular	1.25-1.15	1.15-1.05	1.00-0.80	0.80
Mala	1.15-1.05	1.05-0.80	0.80-0.60	0.60
Muy mala	1.05-0.95	0.95-0.75	0.75-0.40	0.40

Tabla 5.3: Coeficientes de drenaje recomendados.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

Para mejores condiciones del drenaje se hace uso del empleo de subdrenes y capas de subbase permeables. En caso de que $m_i=1$ se dice que las condiciones de drenaje no causan efecto en el espesor del pavimento, y si es menor que la unidad

el espesor se incrementara y para valores superiores a la unidad el espesor decrecerá.

g) Confiabilidad (R , Z_R , S_0). Se define como la probabilidad estadística de que el pavimento cumpla con el periodo de vida de diseño. A lo largo del tiempo se representa mediante una curva que manifiesta la forma en que el pavimento pierde alguna de sus propiedades. El nivel de confianza deberá seleccionarse de acuerdo con el tipo de carretera, y teniendo en cuenta lo recomendado de la tabla 5.6.

Tabla 5.6. Niveles de confianza sugeridos para diferentes tipos de vialidades y carreteras.		
Tipo de vialidad	Nivel de confianza	
	Vialidades urbanas	Carreteras
Autopistas y carreteras de primer orden	85-99.9	80-99.9
Carreteras y vialidades principales	80-99	75-95
Carreteras y vialidades secundarias	80-95	75-95
Vialidades de acceso y calles en general.	50-80	50-80

Tabla 5.6: Niveles de confianza para diferentes tipos de carreteras.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

h) Módulo de resiliencia (M_R). Este modulo es una característica que se requiere para el diseño del pavimento este modulo ha sustituido al valor CBR y el valor de R o modulo de reacción del estabilometro. Las razones principales para las que se adapta esta característica son:

1) Indica la propiedad básica del material que puede utilizarse en el análisis mecanístico del sistema multicapa para predecir la rugosidad, agrietamiento, roderas, deterioros, etc.

2) Se emplea una técnica de pruebas no destructivas que permite estimar el M_R de varios materiales directamente en el lugar.

Se han establecido correlaciones razonables del valor relativo de soporte y el valor de R que está dada por las siguientes expresiones.

$$M_R \text{ (psi)} = 1500 \times \text{CBR}$$

$$M_R \text{ (psi)} = 1000 \times 555 \times R$$

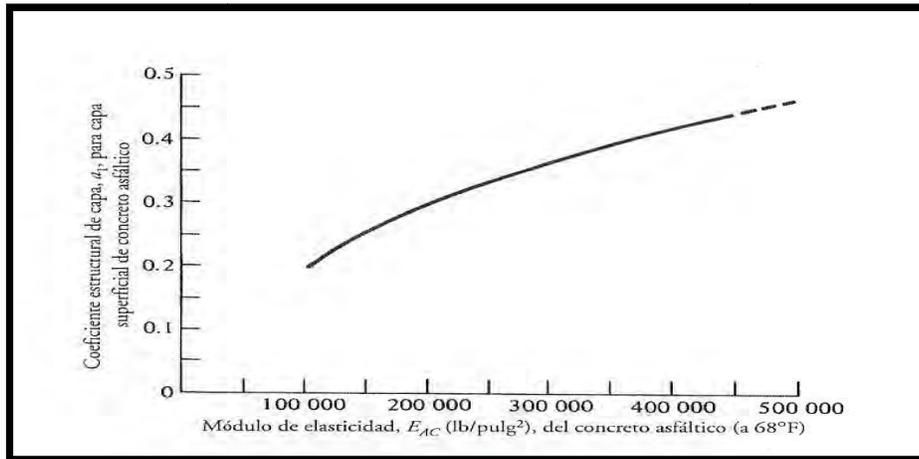
Estas expresiones son válidas para suelos finos o granulares en suelos finos arcillosos y expansivos de muy bajo CBR abra que tomar en cuenta las siguientes consideraciones asegurar una buena compactación donde el CBR cumpla, también se analizaran cuestiones de drenaje y subdrenaje a demás métodos de estabilización. Se deberá obtener un módulo de resiliencia efectivo. Para el diseño de pavimentos flexibles, se recomienda convertir los datos estacionales en modulo de resiliencia efectivo de la capa subrasante. Proporciona un valor ponderado en función del daño equivalente anual obtenido para cada estación en particular, o bien, utilizando la siguiente ecuación:

$$U_f = 1.18 \times 10^8 * M_R^{2.32}$$

U_f = daño relativo en cada estación.

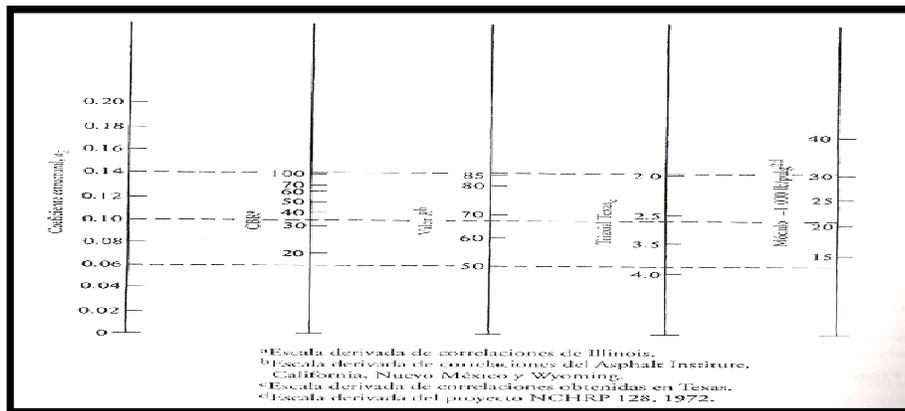
M_R = módulo de resiliencia de la capa subrasante, obtenido en laboratorio cada quincena o mes.

i) **Coefficiente de capa (a_i)**. Este método proporciona graficas donde se pueden obtener los coeficientes de capa para diferente tipo de material, en función del M_R . En las graficas 1,2 y 3, se establecen los coeficientes de capas.



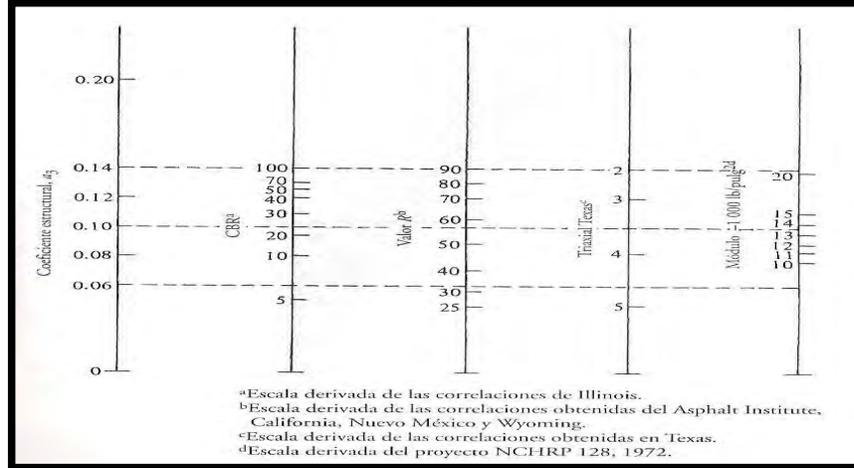
Gráfica 5.1: Coeficiente estructural de capa.

Fuente: Zárate Aquino (2003).



Gráfica 5.2: Coeficiente estructural de capa.

Fuente: Zárate Aquino (2003).



Gráfica 5.3: Coeficiente estructural de capa.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

5.9. Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM

Como lo menciona Zárate Aquino (2003), este método parte del análisis de datos experimentales obtenidos en tramos de prueba. Actualmente el método está preparado para ser manejado con la ayuda de un programa interactivo de computo, DISPAV-5 donde analiza secciones estructurales hasta de cinco capas, e incorpora tanto el cálculo por deformación permanente, según el modelo elástico-plástico, también el cálculo por fatiga empleando modelos elásticos de varias capas.

Para el diseño con deformación permanente cabe señalar que el método previene la deformación excesiva en las capas no estabilizadas como la base, subbase, subrasante y terracería. La prevención de esta deformación en las capas asfálticas es de mucha importancia cuando las temperaturas son altas y los espesores son gruesos, sobre todo si el tránsito es de tipo pesado. Este método advierte sobre la conveniencia de tener suficiente información confiable sobre los insumos requeridos, ya que esta confiabilidad depende de los datos empleados que

sean representativos de las propiedades esperadas de los materiales en el lugar, durante la vida de servicio del pavimento, de acuerdo con Zárate Aquino, (2003).

Procedimiento de cálculo para el programa:

- 1) Diseño del pavimento, a partir de un tránsito de proyecto y de las características mecánicas de materiales conocidos, lo que permite la determinación de los espesores de capa requeridos para el tránsito de proyecto.
- 2) Determinación de la vida previsible por deformación permanente y por agrietamiento debido a fatiga de capas.

Condiciones de diseño del método:

- 1) “Diseño de pavimentos de altas especificaciones en los que se requiere conservar un nivel de servicio alto de la superficie de rodamiento, durante toda la vida de servicio. Al finalizar esta, la deformación esperada será del orden de 1.2 cm, y se considera como el percentil de 80 de la deformación máxima, por lo que se acepta un agrietamiento ligero o medio.
- 2) Diseño de pavimentos convencionales, en los cuales la deformación permanente esperada al término de una vida de servicio será de 2.5 cm, con agrietamiento medio o fuerte, por lo que se requiere dar un mantenimiento rutinario frecuente” (Aquino; 2003:115).

El método hace notar que el comportamiento del pavimento depende del control de calidad de la construcción y de un mantenimiento adecuado. En carpetas asfálticas el diseño de las mezclas asfálticas es un elemento importante, donde se

requiere un diseño cuidadoso y una construcción adecuada para evitar la falla prematura.

En caminos de altas especificaciones, las consideraciones anteriores tienen mayor relevancia, y es necesario elegir materiales de construcción de muy buena calidad, por lo tanto se deberá emplear un diseño correcto en las mezclas asfálticas y aplicar un control de calidad estricto durante la construcción.

a) Tránsito de proyecto. El método proporciona la subrutina de TRANSIT 5 para el cálculo del tránsito, requerido para el diseño por fatiga de las capas ligadas y para el diseño por deformación permanente acumulada en ambos casos referidos en ejes sencillos con llantas gemelas y un peso estándar de 82 kN, como lo indica en la tabla 5.7, que establece los coeficientes de distribución de tránsito para cada carril.

Tabla 5.7. Distribución del tránsito en el carril de proyecto.	
Número de carriles en ambas direcciones.	Coefficiente de distribución en el carril de proyecto, en %.
2	50%
4	40 - 50%
6	30 - 40%

Tabla 5.7: Distribución del tránsito.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

Una vez conocido el tránsito equivalente de proyecto, el programa lo clasifica en cuatro niveles con el objetivo de establecer espesores mínimos de capa, a partir de los valores ya indicados en la tabla 5.8.

Tabla 5.8. Niveles de tránsito equivalente en el carril de proyecto.	
Nivel del Tránsito equivalente	Ejes equivalentes de 82 kN.
I	$T \leq 10^6$
II	$10^6 < T \leq 10^7$
III	$10^7 < T \leq 5 \times 10^7$
IV	$5 \times 10^7 < T$

Tabla 5.8: Niveles de transito equivalente.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

El programa permite determinar los coeficientes de daño a diferentes profundidades desde 5 hasta 120 cm.

b) Capas consideradas. Este programa está considerado para analizar secciones estructurales con un máximo de cinco capas, las cuales son carpeta asfáltica, base granular, subbase granular, subrasante y terracería.

El número mínimo de capas a considerar son dos, una de ellas debe ser la terracería, por lo que deberá ser la otra la carpeta o base. La capa de terracería se analiza como un medio semi-infinito, lo que hay que tomar al realizar el análisis de deflexiones de la sección.

El método proporciona una estimación adecuada de las deformaciones por fatiga en las capas estabilizadas con asfalto, empleando el modelo elástico de cinco capas.

c) Valor relativo soporte crítico. Es una variable muy importante por lo que se deberá tener mucho cuidado en la estimación. Para lograr una mejor comprensión del comportamiento de las terracerías y de las demás capas a diseñar, se requiere

efectuar pruebas de laboratorio confiables para cada tipo de material propuesto y disponible. Si se conoce la humedad óptima y el porcentaje de compactación se indicara un rango de variación de la humedad de compactación respecto al óptimo. De manera que se encontrara una zona que indicara las condiciones de campo esperadas para la subrasante, y se determinara en función de la humedad critica.

Para obtener el VRS_z crítico de las capas restantes, subbase y base este método emplea la siguiente ecuación, en donde interviene un coeficiente de variación estimado, v , que se tomara entre 0.2 y 0.3:

$$VRS_z = \overline{VRS} (1 - 0.84v)$$

En donde \overline{VRS} es el valor promedio de los valores obtenidos en el laboratorio. En este punto el programa revisa los VRS_z en relación con los valores máximos y mínimos permisibles para cada capa, basándose en la tabla 5.9. Pero si el VRS_z es mayor se toma el VRS_{max} como valor de proyecto VRS_p para efectos de diseño por deformación permanente acumulada.

Tabla 5.9. VRS_{max} para todos los niveles de tránsito, (VRS_p).	
Capa	VRS_{max} %
base	120%
subbase	30%
subrasante	20%
terracerías	20%

Tabla 5.9: VRS_{max} para todos los niveles de transito.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

Los valores máximos de VRS_z se establecen para obtener espesores razonables desde un punto de vista constructivo. Y los VRS_z mínimos especifican para limitar la calidad mínima de la base de la terracería, según la tabla 5.10.

Tabla 5.10. VRSZ mínimos, para todos los niveles de tránsito.	
Capa	VRS_p, mínimos permisibles por proyectos, %.
base	70
terracerías	3

Tabla 5.10: VRS_{min} para todos los niveles de tránsito.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

Debe tenerse en cuenta que en caso de la terracería, el valor relativo soporte muy bajo implica la necesidad de estudios geotécnicos para diseñar la sección estructural del pavimento.

d) Módulos elásticos de la las capas no estabilizadas. Para el diseño por fatiga se requiere determinar las deformaciones unitarias críticas de tensión en la parte inferior de la carpeta, por lo que se necesita conocer el modulo de elasticidad de las capas no estabilizadas. En caso de no conocerlo se desarrollo la siguiente ecuación.

$$E = 130 VRS_z^{0.7}$$

e) Módulo de elasticidad de la carpeta. El programa permite obtener de manera experimental el modulo, o bien calculándolo a partir de la composición

volumétrica, características del asfalto, frecuencia de aplicación de carga y temperatura.

El programa MODULO-5 presenta una tabla con los módulos obtenidos por cada procedimiento tomando el valor con base al criterio y experiencia. Al obtener el modulo de la capa asfáltica es necesario considerar la temperatura y la frecuencia de aplicación de la carga, la que depende de la velocidad de operación de los vehículos pesados y de la profundidad de la capa.

f) Relación de Poisson. Este programa da valores promedio para cada capa y permite modificar esos valores en caso de contar con información confiable.

g) Nivel de confianza del proyecto. Esto es a la probabilidad de que la duración real del pavimento sea menos igual a la de proyecto. Se sugiere el empleo de un nivel de 85%, pero el método permite el empleo de cualquier nivel entre el 50 al 99%.

5.9.1. Diseño por deformación permanente en la rodada.

Zárate Aquino (2003), indica que una vez conocido el tránsito equivalente los VRS_z de las capas no estabilizadas, el módulo elástico de la carpeta y el nivel de confianza, se determinaran los espesores para cada capa. Este espesor obtenido se compara con el espesor mínimo especificado para el nivel de tránsito de proyecto. Si el espesor es menor que el mínimo especificado, se tomara dicho espesor mínimo. Los espesores mínimos especificados para las capas base y subbase se establecen en la tabla 5.11.

Tabla 5.11. Espesores mínimos de las capas de pavimento, en centímetros.				
Capa	Nivel de tránsito.			
	I	II	III	IV
carpeta*	0	5	5	5
base*	15	15	15	15
sub-base*	15	15	15	15
subrasante**	20	30	30	30
subrasante***	30	40	40	40

(*) Aplicable a caminos normales y carreteras de altas especificaciones.

(**) Aplicable a caminos normales.

(***) Aplicable a carreteras de altas especificaciones.

Tabla 5.11: Espesores mínimos para las capas de pavimento.

Fuente: Zárate Aquino (2003).

5.9.2. Revisión de diseño por efectos de fatiga.

Según Zárate Aquino (2003), el DISPAV 5 revisa que la relación de módulos entre dos capas adyacentes no estabilizadas de la estructura propuesta no sobrepase cierto límite para evitar esfuerzos de tensión, en la parte inferior de la capa superior.

$$K = 0.2h^{0.45}$$

En donde:

K = es la relación de módulos admisibles.

H = es el espesor de la capa superior, en mm.

Si el valor excede la relación de módulos, el programa propone el ajuste recomendable en el valor de los módulos de rigideces. El valor calculado de la deformación unitaria de tensión en la carpeta, permite la obtención de la vida

previsible por fatiga donde se compara con el tránsito de proyecto y el resultado puede ser algunos de estos:

a) La vida previsible es menor que el tránsito de proyecto. El programa presenta 4 opciones.

1) Cambiar las propiedades de las capas asfálticas, donde solo se cambia el modulo de elasticidad.

2) Aumentar el espesor de algunas capas.

3) Considerar la colocación de una base asfáltica.

b) La vida previsible esta en un intervalo de $\pm 10\%$ de transito de proyecto.

c) La vida previsible es mayor que el tránsito de proyecto. Se considera la tolerancia de un 10%, se permite hacer ajustes de materiales o espesores para llegar a un diseño más aceptable.

CAPÍTULO 6

RESUMEN DE MACRO Y MICRO LOCALIZACIÓN

En este capítulo se abordarán las principales características geográficas, fisiográficas, topográficas, orográficas, etc., que estén relacionadas con dicho camino y la localidad, pues son necesarias para la recopilación de los datos para la cual se diseñara el camino, así mismo se presentara los procedimientos necesarios para su ejecución. Del mismo modo como resumen ejecutivo, análisis de tránsito entre otros elementos a definir.

6.1. Macrolocalización.

El Estado de Michoacán se localiza en la parte centro occidente de la República Mexicana, sobre la costa meridional del Océano Pacífico, entre los 17°54'34" y 20°23'37" de latitud Norte y los 100°03 '23" y 103°44'09" de longitud Oeste. Colinda con los estados de Colima y Jalisco al noroeste, al norte con Guanajuato y Querétaro, al este con México, al sureste con el estado de Guerrero y al suroeste con el Océano Pacífico.

El Estado de Michoacán ubicado en el extremo suroeste de la Mesa Central por su extensión territorial ocupa el décimo sexto lugar nacional, con una superficie de 5, 986,400 hectáreas (59,864 km²) que representa alrededor del 3.04% de la superficie total del territorio nacional, con un litoral que se extiende a lo largo de casi 217 km. sobre el Océano Pacífico, desde la desembocadura del Río Balsas, hasta la del Río Coahuayana.



Figura 6.1: Ubicación de Michoacán en el país.

Fuente:http://www.michoacanosaaa.mx/sitio/index.php?option=com_content&view=category&id=3&Itemid=4

El estado de Michoacán tiene 113 municipios y éstos, tienen características que los hacen propensos al desarrollo turístico; sin embargo, de acuerdo al potencial y a la existencia de recursos naturales más factibles de ser aprovechados: clima, suelo, agua, vegetación, orografía, infraestructura de comunicación y servicios establecidos, permiten agrupar al estado en seis regiones básicas: Morelia, Pátzcuaro, Uruapan, Zitácuaro, Zamora y Lázaro Cárdenas.

6.1.1. Geología y fisiografía.

Michoacán comparte con los estados de Colima, Jalisco, Guerrero y México los terrenos de la provincia geológica y fisiográfica denominada Sierra Madre del Sur; y con Jalisco, Guanajuato, Querétaro y México, los del Eje Neovolcánico.

Por sus características geológicas, el estado presenta dos porciones bien definidas:

- a) La zona norte, que forma parte de la provincia fisiográfica del Eje Neovolcánico y que está constituida por rocas basálticas y andesíticas intercaladas en los valles con sedimentos lacustres y aluviales de edad Terciaria y Reciente.
- b) La porción austral, integrante de la Sierra Madre del Sur, está constituida por rocas metamórficas muy antiguas y formaciones calcáreas de edades Jurásicas y Cretácicas.

6.1.2. Relieve.

Está constituido esencialmente por rocas volcánicas jóvenes. El paisaje de esta región conserva en su mayor parte, rasgos estructurales originales. Debido a lo accidentado del relieve se han formado tres vertientes: la del norte, donde se localizan los lagos de Cuitzeo, Pátzcuaro, Chapala, Zirahuén y en la que escurre el río Lerma. La del centro donde se encuentran los ríos Tepalcatepec y Balsas; y la del sur o del Pacífico, en la que los escurrimientos de la Sierra de Coalcomán desembocan en el Pacífico.

6.1.3. Orografía.

La orografía de Michoacán presenta fuertes variantes que ocasionan contraste en la hidrografía, la vegetación y el clima. Las elevaciones orográficas más notables en esta región, son: el Tancítaro (3,857 m); Patambán (3,525 m); Cerro de Quinceo

(2,750 m); el Tzirate (3,300 m) y el Volcán de San Andrés (3,605 m. en el municipio de Ciudad Hidalgo).

6.1.4. Hidrología.

En Michoacán se encuentran áreas que forman parte de cuatro regiones hidrológicas: en la porción norte del estado se localiza la región "Lerma-Chapala-Santiago", que cubre una superficie de 14,818.25 km². La del "Río Balsas" abarca 34,293.79 km² y está situada en la porción central. Entre la sierra de Coalconanglia, zona costera, al sur, están ubicadas las regiones "Armería-Coahuayana", cuya extensión es de 1,495.36 km², y "Costa de Michoacán" que se encuentra totalmente dentro del estado y donde cubre un área de 8,078.49 km².

Tanto el Lago de Pátzcuaro y el Zirahuén, localizados en la región centro - norte del estado, en una de las partes más altas del Eje Volcánico Transversal, constituyen los centros de mayor atracción turística de la entidad, siendo la actividad pesquera la más importantes.

El Río Carácuaró (5,300 kilómetros cuadrados de superficie) que corre en una dirección de norte a sur, recibe los aportes de varios ríos y arroyos, entre los que destacan los arroyos de Inguarán, Las Truchas y Los Limones, así como los ríos de Pedernales y Puruarán.

6.1.5. Temperatura.

La distribución geográfica de la temperatura disminuye de sur a norte y siempre en relación con la altitud. Las temperaturas medias mensuales varían de 13° C a 29° C, las más elevadas se registran en las regiones de la Costa y la Tierra Caliente, particularmente en las porciones de menor altitud en donde los valores promedio anuales alcanzan extremos cercanos a los 30° C y aún más, como por ejemplo en las localidades de Churumuco, Apatzingán y Tepalcatepec.

Las temperaturas medias mensuales más bajas se registran en las zonas montañosas hacia las regiones de la Sierra de Coalcomán y la Sierra del Centro, como por ejemplo en la zona de Tancítaro y el noroeste del estado, en la municipalidad de Tlalpujahua.

6.1.6. Precipitación Pluvial.

Las isoyetas extremas varían de 600 - 1,600 milímetros anuales, registrándose los valores más bajos hacia la tierra caliente particularmente en las áreas de menor altitud, como por ejemplo en las localidades de Apatzingán, Zicuirán, Infiernillo y Churumuco, en el resto de tal región y en la Costa predominan valores de 600 - 800 milímetros.

A diferencia de la temperatura, la época de lluvias está claramente demarcada y en general, Enero es el mes de menor precipitación y Julio el de Mayor.

6.1.7. Clima.

Con excepción de los climas francamente húmedos y francamente áridos, los tipos climáticos que predominan en Michoacán son:

Clima tropical lluvioso, con lluvias en verano. En la Región de la Costa y porciones de mayor altitud de depresión del Balsas, así como en las estribaciones de la sierra de Coalcomán.

Clima templado subhúmedo con lluvias en verano, la temperatura media del mes más caliente es mayor de 22° C. Se distribuye en la mayor parte de la Región de los Valles y Ciénegas del Norte, en la Sierra de Coalcomán y Arteaga y zonas de transición entre la Sierra del Centro y la Cuenca del Balsas - Tepalcatepec. La temperatura media del mes más cálido es inferior a 22° C. Se extiende en la mayor parte de la Sierra del Centro y serranías aisladas de la Región de los Valles del Norte.

Es un clima templado con lluvias todo el año y una época más seca en el invierno. Corresponde a las cumbres más altas, como por ejemplo en las Sierras de Tancítaro, Paracho y Patamban en el oeste; las Sierras de Tlalpujahuá y Angangueo en el este, así como en las Sierras de Acuitzio, Nahuatzen y Pátzcuaro hacia el centro.

6.2. Microlocalización.

El camino se ubica al noroeste del Estado, en las coordenadas 19°42' de latitud norte y 100°33' de longitud oeste, a una altura de 2,040 metros sobre el nivel del mar. Limita al norte con Queréndaro, Zinapécuaro y Maravatío, al este con Irimbo, Tuxpan y Jungapeo, al sur con Tuzantla y Tiquicheo, y al oeste con Tzitzio, Queréndaro, Indaparapeo y Charo. Su distancia a la capital del Estado es de 104 Km.



Figura 6.3: ubicación del tramo en estudio

Fuente: <http://www.inegi.org.mx>

6.2.1. Extensión

Su superficie es de 1,063.06 Km² y representa un 1.78 por ciento del total del estado.

6.2.2. Orografía.

Su relieve lo conforman el sistema volcánico transversal, sierra de Mil Cumbres y cerros: Del Fraile, Azul, San Andrés, Ventero, Guangoche y Blanco.

6.2.3. Hidrología.

La constituyen los ríos Agostitlán, Chaparro, Zarco y Grande; las presas de Sabaneta, Pucuató y Mata de Pinos.

6.2.4. Climatología.

Templado con lluvias en verano, y al norte con lluvias todo el año. Tiene una precipitación pluvial anual de 1,810.2 milímetros y temperaturas que oscilan de 4.1 a 18.4° centígrados.

6.2.5. Principales ecosistemas.

El municipio tiene bosque mixto, con aile, encino y sauce; bosque de coníferas, con pino. Su fauna la conforman: coyote, zorro, zorrillo, tlacuache, liebre, conejo, mapache, armadillo, pato y torcaz.

6.2.6. Recursos Naturales

El municipio tiene una superficie forestal maderable ocupada por pinos, encinos y oyamel; y una superficie no maderable ocupada por matorrales de distintas especies. Existen yacimientos minerales no metálicos de caliza, arcilla, arcilla caolinítica, caolín, sub-bentonita, azufre y tierra fuller.

6.2.7. Características y Uso del Suelo

Los suelos del municipio datan de los períodos cenozoico, terciario y pleoceno; corresponden principalmente a los del tipo complejo de montaña. Su uso es primordialmente forestal y en menor proporción ganadera y agrícola.

6.2.8. Geología.

Michoacán comparte con los estados de Colima, Jalisco, Guerrero y México los terrenos de la provincia geológica denominada Sierra Madre del Sur; y con Jalisco, Guanajuato, Querétaro y México, los terrenos del Eje Neovolcánico.

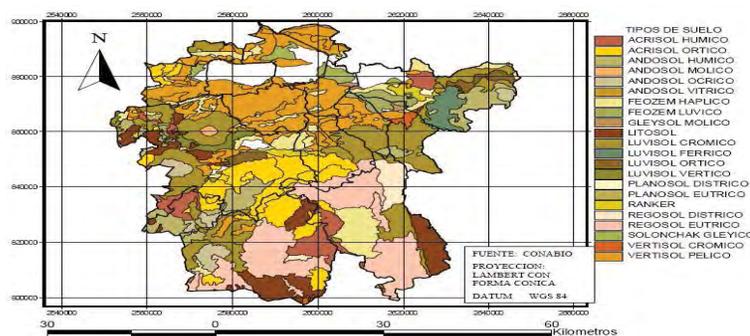


Figura 6.2. Geología de la región

Fuente:

6.2.9. Fisiografía.

El territorio de Ciudad Hidalgo se ubica en la subprovincia fisiográfica “Depresión del Balsas”, Esta región se extiende en dirección norte-sur desde el límite con la subprovincia Mil Cumbres (perteneciente al Eje Neovolcánico), por Morelia y Zitácuaro, hasta las márgenes del río Balsas.

Litológicamente, es una subprovincia bastante compleja, ya que la integran rocas ígneas, sedimentarias y metamórficas. En Michoacán integra la porción más oriental del estado, con una superficie de 9 587.89 km².

Esta subprovincia es característica por las condiciones edafológicas que presenta, mismas que comparten los estados de Michoacán y Guerrero. Existe una dominancia de suelos jóvenes, de poco desarrollo, colores claros y texturas de migajón-arenoso llamados Regosoles, que se extienden a través de casi 4 000 km² de terreno y que constituyen el 40% del total de la superficie de la subprovincia.

6.2.10. Demografía.

En el municipio de Ciudad Hidalgo en 1990, la población representaba el 2.7 por ciento del total del Estado. Para 1995, se tiene una población de 102,649 habitantes, su tasa de crecimiento es del 2.7 por ciento anual y la densidad de población es de 89.72 habitantes por kilómetro cuadrado. El número de mujeres es relativamente mayor al de hombres. Para el año de 1994, se registraron 3,873 nacimientos y 453 defunciones.

En el año 2000 el municipio contaba con 106,421 habitantes y de acuerdo al II Censo de Población y Vivienda del 2005 el municipio cuenta con un total de 110,311 habitantes.

6.3. Resumen ejecutivo.

Con la finalidad de llevar a cabo el proyecto de la alternativa para la modernización del camino: Ciudad Hidalgo – Casas Pintas del km 3+000 al km 5+000, mejorando su alineamiento horizontal y vertical, así como diseñando una estructura del pavimento que cumpla con las expectativas del tránsito existente y le de confort a los usuarios de este camino. Para lograr éste objetivo, se realizó una recopilación de información técnica, así como un reconocimiento físico de la zona; lo que permitirá concebir la planeación del proyecto, para así poder llevar a cabo los trabajos de ingeniería que darán sustento a la alternativa de solución aquí propuesta.

El camino se desarrolla en un lomerío suave a plano, en el tramo que se analizara se propondrán las pendientes que estén dentro de las que especifica las normas de la SCT. Como también se tendrán anchos de corona que varíen. Por lo tanto, en varias zonas del camino existente se rectificaran curvas horizontales y se rectificaran las curvas verticales del camino, esto debido también a que será posible lo anterior ya que en la mayor parte del camino existen terrenos de cultivo en los costados.

Para el proyecto geométrico del camino, como se menciono anteriormente, en algunas zonas no se respetara el camino actual debido a que para este camino se proyectara un camino tipo C, con un grado máximo de curvatura de 30 grados, y se diseñara con una velocidad de proyecto de 40 a 90 km/h en 7 curvas propuestas (2 curvas simples y 5 espirales). Por lo tanto en el alineamiento horizontal como también en el vertical la velocidad de proyecto será de 40 a 90 km/h. Pues, en el alineamiento vertical se tienen 5 curvas, por lo cual se tienen cortes y terraplén. Esto para respetar la pendiente máxima para un camino tipo C que es del 8%. Todo esto se realizara para respetar lo más posibles las construcciones que se encuentran en los costados del camino y así tratar de evitar las afectaciones al mínimo.

En lo referente al drenaje que tendrá este camino, las cuencas son muy semejantes en precipitación pluvial, vegetación y características del suelo, se proyectarán obras del mismo tipo y de dimensiones casi iguales, para tener una estandarización en la construcción, por lo tanto se proyectaran 2 obras de drenaje; de las cuales 1 es a base de tubos de polietileno de alta densidad de 1.20 metros de diámetro y la otra es una losa de concreto hidráulico.

Por otro lado, para las obras de drenaje complementario, se proyectará la construcción de cunetas revestidas de concreto hidráulico con un espesor de 8 centímetros, así como también bordillos, lavaderos y contracunetas de concreto hidráulico, estas obras se diseñaran respetando las normas de la SCT, así como aplicando sus especificaciones. En lo que respecta al estudio de subdrenaje; se considerara no proponer la construcción de estos, debido a que el camino se

construirá en una zona donde existen tierras de cultivo asimismo no se localizó el nivel freático en los sondeos realizados, por lo cual no se propusieron los subdrenes.

En lo que respecta a geotecnia, se realizaron 4 sondeos del tipo pozo a cielo abierto a una profundidad máxima de 1.50 m, encontrándose arenas arcillosas y arenas limosas en la estratigrafía encontrada; a partir de la cual, se diseñó la estructura de pavimento, por medio de el método de Instituto de Ingeniería de la UNAM y con apoyo del tránsito promedio diario anual, obtenido de aforos realizados en el camino en estudio, dando estos aforos como resultado, que el camión más grande de circula por este camino actualmente es el C3.

Para el diseño del pavimento, se tomará como base el estudio geotécnico realizado para este camino en particular, por lo cual los diseños que se realizaran estarán basados principalmente en el VRS de cada uno de los materiales encontrados a lo largo de la línea del trazo; para diseñar el pavimento se utilizará el método del Instituto de Ingeniería de la UNAM del cuales resultara una estructura de pavimento propuesta para este camino, este método resulta ser hoy en día uno de los más empleados ya que arroja resultados confiables además de que está diseñado para calcular carreteras de altas especificaciones como para carreteras normales .

Por último, en cuestión de mantenimiento, se propone que se realice en el camino cada año su conservación periódica, la cual consistirá en la limpieza de las obras complementarias de drenaje, limpieza de azolves de obras de drenaje menor, reposición de las líneas de señalamiento, limpieza del derecho de vía, reconstrucción

de las obras complementarias de drenaje dañadas, bacheo, retiro de derrumbes y si fuera el caso la colocación de un riego de sello para tener una superficie de rodamiento rugosa. Todas estas acciones beneficiaran principalmente a los usuarios que circularan por este camino y tendrán un costo de transporte menor asimismo se tendrá una mayor vida útil del pavimento.

6.4. Informe fotográfico.

En este informe se dará a conocer el estado en el que se encuentra actualmente el camino Ciudad Hidalgo – Casas Pintas del km 3+000 al km 5+000, como también el tipo de vegetación, las condiciones actuales de las obras de drenaje y tipo de suelo.

6.4.1. Estado físico actual.

En la foto 6.1 y 6.2 se observa el tipo de suelo, los cuales principalmente son arenas arcillosas y arenas limosas en el tramo de estudio, también se observa la abundante vegetación que existe a los costados del camino.



Foto 6.1: se observa que es una arena arcillosa por su apariencia.

Fuente: Propia



Foto 6.2: vemos abundante vegetación.

Fuente: Propia

Se observa que hay zanjas a los lados haciendo la función de las cunetas.



Foto 6.3: se observa el drenaje tipo dendrítico.

Fuente: Propia

En la foto 6.4 y 6.5 se observa que a los lados existen terrenos de cultivo asimismo se observan los arboles que existen en la zona como también se observa un poste de CFE que conduce energía eléctrica.



Foto 6.4: se observa un poste de luz de CFE al costado de la carretera.

Fuente: Propia



Foto 6.5: al lado de la carretera vemos que hay terrenos de cultivo.

Fuente: Propia

En la foto 6.6 y 6.7 se observan las obras de drenaje existentes, y se ve que son inapropiadas ya que la de la foto 6.6 se observa una zanja que está en uso sin embargo esto en un determinado tiempo puede ser contraproducente, como también se observa la grava suelta que hay sobre el camino provocando en un momento dado accidentes. En la foto 6.7 se observa que hay una obra de drenaje que está completamente tapada y, por tanto, inservible.



Foto 6.6: se observa que corre agua al lado del camino por una zanja.

Fuente: Propia



Foto 6.7: aquí vemos una obra de drenaje inservible.

Fuente: Propia

En la foto 6.8 y 6.9 se observa la gran cantidad de pinos y encinos que hay, los cuales se tomarán en cuenta para los estudios de impacto ambiental.



Foto 6.8: se ven propiedades aledañas al camino.

Fuente: Propia



Foto 6.9: esta es otra foto donde se observa la vegetación.

Fuente: Propia

6.5. Estudios del camino.

Para este proyecto se darán los pasos para la alternativa propuesta sobre esta investigación el estudio y análisis del camino

6.5.1. Trazado del eje de proyecto.

El levantamiento topográfico inicial del camino Ciudad Hidalgo – Casas Pintas, se realizó con estación total con aproximación de 2", con dicha estación se tuvo que realizar primero un levantamiento topográfico en toda la franja donde se pretende la construcción de curvas horizontales y verticales de igual manera el eje de proyecto.

6.5.2. Referencias del trazo.

Para localizar el eje de proyecto en campo, se referencio para cada uno de los PI, PC y PT, de cada unas de las curvas horizontales y para las curvas espirales PI, TE, EC, CE y ET. Para el registro definitivo del trazo se obtuvieron las coordenadas X y Y de cada una de las referencias, así como los rumbos y distancia a cada referencia.

6.5.3. Propuesta de la nivelación diferencial y seccionamiento del terreno.

Para dar una nivelación adecuada a este proyecto se propone que se realice con un nivel fijo con una aproximación de 2 mm. Cerciorándose que este correcta con la comprobación en cada banco de nivel ya establecido.

Por lo que respecta al seccionamiento transversal se propone que se realice con un nivel de las mismas características que el ya mencionado, seccionando a una distancia a cada 20 metros a cada lado del eje de proyecto.

6.8. Trabajos de campo y Laboratorio.

Con la finalidad de conocer la calidad de los materiales que conforman actualmente la estructura del camino y poder diseñar el pavimento que se propondrá para la modernización, sobre el eje de trazo y en toda la longitud se realizaron 4 sondeos del tipo pozo a cielo abierto, con una separación de 500 m entre cada sondeo.

Estos sondeos se efectuaron a una profundidad máxima de 1.50 m, punto en el que se encontró el terreno natural.

6.8.1. Pruebas de laboratorio.

En las pruebas de laboratorio de cada uno de los sondeos realizados, se obtuvieron muestras alteradas, a las cuales se les determinó su peso volumétrico seco suelto y máximo, granulometría, límites de consistencia, valor relativo de soporte, equivalente de arena, humedad óptima y clasificación SUCS.

CAPÍTULO 7

METODOLOGÍA

En este capítulo, se presenta la metodología de la investigación realizada, señalando, el enfoque que se le dio, el alcance, el diseño, la instrumentación que se necesitó para el acopio de los datos y la descripción del proceso que se fue dando a la presente investigación.

7.1. Método empleado.

El método que se empleó fue el método científico deductivo, ya que éste presenta características que van de lo general a lo particular. El método parte de datos generales los cuales se aceptan como verdaderos, para así poder inferir, las suposiciones por medio del razonamiento lógico. El método deductivo consta de los siguientes puntos:

- Determinar los hechos más relevantes del fenómeno por analizar.
- Deduce las relaciones constantes de naturaleza que dan lugar al fenómeno.
- Con base en las deducciones anteriormente se formula una hipótesis.
- Luego de formular la hipótesis se recurre a formar leyes.

Dentro del método deductivo se encuentra el método matemático – analítico el cual aplica a esta investigación.

Método matemático.- En este método se comparan cantidades para así poder obtener nociones derivadas, de importancia, valor económico y capacidad. “En cualquier investigación que asiente números de relaciones constantes, variedad de

hipótesis, diversidad de comprobación y estas se tomen en cuenta para afirmar o negar algo, se estará aplicando el método cuantitativo”. (Mendieta, 2005; 49).

Método analítico.- Este método “distingue los elementos de un fenómeno y permite revisar ordenadamente cada uno de ellos por separado, como lo hace la física, la química y la biología, disciplinas que lo aplican, para luego a partir de él y de la experimentación de un gran número de casos establecer leyes universales”. (Jurado, 2005; 2).

7.2. Enfoque de la investigación.

El enfoque que se le dará a esta investigación será de carácter cuantitativo, ya que propone una amplia generalización de los resultados, da el control sobre los fenómenos, un punto de vista de conteo y magnitudes de éstos. Como también brinda una gran posibilidad de réplica y un enfoque sobre puntos específicos de dichos fenómenos, además de que facilitara la comparación entre estudios similares.

7.2.1. Alcance.

Aspectos como el diseño, el muestreo, los datos que se recolectan, la manera de obtenerlos y otros componentes del proceso son distintos en los estudios exploratorios, descriptivos, correlacionales y explicativos, ya sea en investigaciones cuantitativas, cualitativas o mixtas.

Para esta investigación se realizarán estudios descriptivos, estos por lo general fundamentan las investigaciones correlacionales, las cuales a su vez

proporcionan información para llevar a cabo estudios explicativos que generan un sentido de entendimiento y son altamente estructurados.

Como ya ha mencionado Danhke (1989), los estudios descriptivos buscan especificar las propiedades, las características y los perfiles importantes de personas, grupos, comunidades o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis.

Los estudios ya mencionados pretenden medir y recoger la información de manera independiente o conjunta sobre los conceptos o las variables a las que se refieren. A su vez pueden integrar la información y medición de cada una de las variables o conceptos para decir como es y cómo se manifiesta el fenómeno de interés, su objetivo no es indicar como se relacionan las variables medidas.

7.3. Diseño de la investigación.

Para la investigación corresponde el tipo de diseño no experimental, no obstante para su clasificación los investigadores han tomado en cuenta los siguientes factores: su dimensión temporal o el número de momentos o puntos en el tiempo, en los cuales se recolectan datos.

Según Hernández S. Roberto y Cols. (2004), en algunas ocasiones la investigación se centra en:

- Analizar cuál es el nivel, estado y presencia de una o diversas variables en un momento dado.

- Evaluar una situación, comunidad, evento, fenómeno o contexto en un punto del tiempo.
- Determinar y ubicar cual es la relación de un conjunto de variables en un momento. En estos casos el diseño apropiado (bajo un enfoque no experimental) es el transversal o transeccional.

Los diseños de investigación transeccional o transversal recolectan datos en un solo momento, en un tiempo único.

7.4. Instrumentos para recopilación de datos.

Para poder llevar a cabo el proceso de la investigación y recopilación de los datos fue necesario utilizar la investigación documental, la observación cuantitativa e instrumentos como los programas computacionales.

Para los estudios cuantitativos es común y frecuente que se incluyan varios tipos de cuestionarios como también pruebas estandarizadas y recopilación de contenidos para análisis estadísticos.

De acuerdo con Hernández S. Roberto y Cols. (2004), recolectar los datos implica:

- Seleccionar uno o varios métodos o instrumentos disponible y desarrollarlos, tanto cuantitativos como cualitativos, dependiendo del enfoque del estudio, del planteamiento del problema y de los alcances de la investigación.
- Aplicar los instrumentos.

- Preparar las mediciones obtenidas o datos levantados para después analizarlos correctamente.

7.5. Descripción del procedimiento de investigación.

El proceso que se le fue dando a la investigación fue basándose en la recopilación de datos por medio de la observación en donde se apreciaron y se registraron las características físicas del actual camino que existe en la denominada carretera Ciudad Hidalgo – Casas Pintas: las cuales son: la topografía, el tipo de suelo que existe y sobre el que se construirá la carretera, los escurrimientos, el tipo de vegetación, el aforo de tránsito y todas las características necesarias para su ejecución son de vital importancia para el estudio y diseño de tal proyecto.

Después de haber estado en campo tuvo que recurrirse a la investigación documental para conocer las características de la región y tener una idea eficaz y certera que se aproxime más a las condiciones de la zona en estudio. Se consultaron datos estadísticos de la zona, como son cantidad de habitantes, actividades de las poblaciones cercanas y el relieve como son la hidrología, geología, topografía, uso del suelo etc. Fue necesario obtener aforos reales del camino para saber la cantidad y tipos de vehículos que transitan por el camino.

Para obtener los datos del proyecto y apegarse a la normatividad que rige la construcción de carreteras se obtuvieron los manuales de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes los cuales incluyen el manual de proyecto geométrico, obras de drenaje y características de los materiales entre otro.

Una vez obtenidos los datos, las bases técnicas y la interpretación de los resultados se llevo a cabo el diseño de el camino Ciudad Hidalgo - Casas Pintas el cual se izo por medio de programas computacionales y graficas proporcionadas por libros de consulta, para realizar los cálculos necesarios se recurrió a programas como son el Autocad, Civilcad, Word, Excel y el programa Dispav-5.

El primer programa servirá para el trazo y creación de ambientes arquitectónicos, perspectivas y áreas; el segundo es un programa base para la topografía el cual con datos obtenidos en campo nos traza lo que son curvas de nivel, perfiles topográficos, secciones transversales y verticales, generación de cuadros de construcción, curvas horizontales y verticales, áreas, volúmenes, pendientes, estructuración de pavimentos entre otras cosas.

En el tercer programa se crean hojas de cálculo las cuales se acondicionan para obtener resultados a base de operaciones básicas como son multiplicaciones y divisiones principalmente así como operaciones de mayor complejidad.

Y finalmente el Dispav-5 es un programa de tipo interactivo creado por el Instituto de Ingeniería de la UNAM, el cual permite calcular carreteras de altas especificaciones como de igual forma carreteras normales, con base a datos de campo y valores de prueba predeterminados, el programa permite calcular los espesores de las capas necesarias de pavimento, su fundamento es teórico experimental y para su aplicación se emplean conceptos y métodos mecanicistas

CAPÍTULO 8

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.

En este capítulo se analizarán e interpretarán los cálculos de esta alternativa propuesta con la ayuda de la información recabada en el transcurso de esta investigación.

8.1. Diseño de la investigación.

Se determinará la alternativa de proyecto geométrico además el análisis y diseño de las obras de drenaje menores; para terminar finalmente el análisis y diseño de pavimento propuesto, con la ayuda del programa del DISPAV-5.

8.2. Proyecto geométrico.

La alternativa del proyecto geométrico de las curvas horizontales y verticales desempeñan un papel importante en las vías terrestres, para el confort y seguridad del conductor.

A continuación se diseñará el alineamiento horizontal y vertical.

Los planos del proyecto geométrico y perfil se presentan en el anexo 01 y 02.

8.2.1. Cálculo de curvas horizontales.

Para el cálculo de las curvas horizontales, se respetó el máximo valor de grado de curvatura para un camino tipo C con terreno en lomerío y una velocidad de proyecto de 40 a 90 Km/h.

**CÁLCULO DE LA GEOMETRÍA DE LAS CURVAS HORIZONTALES.
CURVA HORIZONTAL SIMPLE**

CURVA C6

Camino tipo: C
Vel. Proy.= 70 Vel proyecto en kph.
PI= 4+424.460 punto de inflexión
 Δ = 7.1679 Deflexión en grados Izq.
Gc= 2.00 Grado de curvatura en °

Cálculo del Radio

$$R = 1145.92/Gc$$

$$R = 572.960$$

Del libro 2 de las NORMAS DE SERVICIOS TECNICOS, tabla 004-6 AMPLIACIONES, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES PARA CARRETERAS TIPO C, SE OBTIENE:

$$Ac= 50$$

$$Sc= 6.7$$

$$Lc= 71.68$$

En cm, % y m.

Cálculo de la Subtangente

$$St=R*Tang\Delta/2$$

$$St= 35.886$$

Longitud de Curva

$$Lc= 20\Delta/Gc$$

$$Lc= 71.679$$

Cálculo de la Externa

$$E= R((SEC\Delta/2) - 1)$$

$$E= 1.123$$

Cálculo de la Media

$$M= R(1-Cos\Delta/2)$$

$$M= 1.121$$

$$\text{Cadenamiento } Pc = CAD PI - St$$

$$Pc= 4+388.574$$

$$\text{Cadenamiento } Pt = Pc + Lc$$

$$Pt= 4+460.253$$

**CÁLCULO DE LA GEOMETRÍA DE LAS CURVAS HORIZONTALES.
CURVA HORIZONTAL SIMPLE**

CURVA C7

Camino tipo:	C	
Vel. Proy.=	70	Vel proyecto en kph.
PI=	4+751.800	punto de inflexión
Δ =	1.5951	Deflexión en grados Izq.
Gc=	2.00	Grado de curvatura en °

Cálculo del Radio

$$R = 1145.92/Gc$$

$$R = 572.960$$

Del libro 2 de las NORMAS DE SERVICIOS TECNICOS, tabla 004-6 AMPLIACIONES, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES PARA CARRETERAS TIPO C, SE OBTIENE:

$$Ac= 50$$

$$Sc= 6.7$$

$$Lc= 15.951$$

En cm, % y m.

Cálculo de la Subtangente

$$St=R*Tang\Delta/2$$

$$St= 7.976$$

Longitud de Curva

$$Lc= 20\Delta/Gc$$

$$Lc= 15.951$$

Cálculo de la Externa

$$E= R((SEC\Delta/2) - 1)$$

$$E= 0.056$$

Cálculo de la Media

$$M= R(1-Cos\Delta/2)$$

$$M= 0.056$$

$$\text{Cadenamiento } Pc = CAD PI - St$$

$$Pc= 4+743.824$$

$$\text{Cadenamiento } Pt = Pc + Lc$$

$$Pt= 4+759.775$$

8.2.2. Curvas verticales.

Para el cálculo de las curvas verticales se desarrollaron cumpliendo la longitud mínima de acuerdo a la velocidad de proyecto utilizada en el alineamiento horizontal.

CÁLCULO DE LA CURVA VERTICAL

CURVA NÚMERO:

DATOS: **CV-01** **CURVA EN CRESTA**

V= 40 Km/hr
P1= -0.2000 %
P2= -2.5000 %

CÁLCUL PIV= 3+680.000 ELEV= 2,433.587

Longitud Mínima de la Curva:

FIG. 004.6 (Normas de Servicios Técnicos)
Proyecto Geométrico.

Por conveniencia se tomara la longitud de la curva de

L= 40 m

L= 80 m

Diferencia Algebraica de las Pendientes:

A= P1-P2
A= 2.3000

Utilizando la fórmula:

Realizan $Z_n = Z_o + ((P1/100) + (A*I)/(200*L)) * I$

Por lo tanto se tiene que:

PCV= 3+640.000 ELEV= 2,433.507

Se tomarán las estaciones para el cálculo @ 8.00 m.

I	n	Zo	P1	L	Zn
3+640.000	0	2,433.51	-0.2	80	2,433.507
3+648.000	8.00	2,433.51	-0.2	80	2,433.482
3+656.000	16.00	2,433.51	-0.2	80	2,433.438
3+664.000	24.00	2,433.51	-0.2	80	2,433.376
3+672.000	32.00	2,433.51	-0.2	80	2,433.296
3+680.000	40.00	2,433.51	-0.2	80	2,433.197
3+688.000	48.00	2,433.51	-0.2	80	2,433.080
3+696.000	56.00	2,433.51	-0.2	80	2,432.944
3+704.000	64.00	2,433.51	-0.2	80	2,432.790
3+712.000	72.00	2,433.51	-0.2	80	2,432.618
3+720.000	80.00	2,433.51	-0.2	80	2,432.427

CÁLCULO DE LA CURVA VERTICAL

CURVA NÚMERO:

DATOS: CV-02 CURVA EN COLUMPIO

V= 40 Km/hr
 P1= -2.5000 %
CALCUL P2= 3.8000 %
 PIV= 3+920.000 ELEV= 2,427.587

Longitud Minima de la Curva:

FIG. 004.7 (Normas de Servicios Técnicos)

Proyecto Geometrico.

Por conveniencia se tomara la longitud de la curva de

Diferencia Algebraica de las Pendie L= 50 m L= 100 m

$$A= P1-P2$$

Utilizando la fórmula:

$$A= -6.3000$$

Realizando los Calculos en la siguiete Tabla

$$Zn = Zo + ((P1/100) + ((A*I)/(200*L))) * I)$$

Por lo tanto se tiene que:

PCV= 3+870.000 ELEV= 2,428.837

Se tomarán las estaciones para el cálculo @ 10.00 m.

I	n	Zo	P1	L	Zn
3+870.000	0	2,428.84	-2.5	100	2,428.837
3+880.000	10.00	2,428.84	-2.5	100	2,428.619
3+890.000	20.00	2,428.84	-2.5	100	2,428.463
3+900.000	30.00	2,428.84	-2.5	100	2,428.371
3+910.000	40.00	2,428.84	-2.5	100	2,428.341
3+920.000	50.00	2,428.84	-2.5	100	2,428.375
3+930.000	60.00	2,428.84	-2.5	100	2,428.471
3+940.000	70.00	2,428.84	-2.5	100	2,428.631
3+950.000	80.00	2,428.84	-2.5	100	2,428.853
3+960.000	90.00	2,428.84	-2.5	100	2,429.139
3+970.000	100.00	2,428.84	-2.5	100	2,429.487

CÁLCULO DE LA CURVA VERTICAL

CURVA NÚMERO:

CV-03 CURVA EN CRESTA

DATOS:

V= 50 Km/hr
P1= 3.8000 %
P2= -5.5000 %
PIV= 4+080.000 **ELEV=** 2,433.667

CALCULANDO

Longitud Minima de la Curva:

FIG. 004.6 (Normas de Servicios Técnicos)

Proyecto Geometrico.

L= 80 m

Por conveniencia se tomara la

la longitud de la curva de

L= 100 m

Diferencia Algebraica de las Pendientes:

$$A = P1 - P2$$

$$A = 9.3000$$

Utilizando la fórmula:

$$Z_n = Z_o + ((P1/100) + (A \cdot I) / (200 \cdot L)) \cdot I$$

Realizando los Calculos en la siguiente Tabla

Por lo tanto se tiene que:

PCV= 4+030.000

ELEV= 2,431.767

Se tomarán las estaciones para el cálculo @ 10.00 m.

I	n	Zo	P1	L	Zn
4+030.000	0	2,431.77	3.8	100	2,431.767
4+040.000	10.00	2,431.77	3.8	100	2,432.101
4+050.000	20.00	2,431.77	3.8	100	2,432.341
4+060.000	30.00	2,431.77	3.8	100	2,432.489
4+070.000	40.00	2,431.77	3.8	100	2,432.543
4+080.000	50.00	2,431.77	3.8	100	2,432.505
4+090.000	60.00	2,431.77	3.8	100	2,432.373
4+100.000	70.00	2,431.77	3.8	100	2,432.149
4+110.000	80.00	2,431.77	3.8	100	2,431.831
4+120.000	90.00	2,431.77	3.8	100	2,431.421
4+130.000	100.00	2,431.77	3.8	100	2,430.917

CÁLCULO DE LA CURVA VERTICAL

CURVA NÚMERO:

CV-04 CURVA EN COLUMPIO

DATOS:

V= 60 Km/hr
P1= -5.5000 %
P2= -0.1000 %
PIV= 4+220.000 **ELEV=** 2,425.967

CALCULANDO

Longitud Mínima de la Curva:

FIG. 004.7 (Normas de Servicios Técnicos)
 Proyecto Geometrico.

Por conveniencia se tomara la
 la longitud de la curva de m

L= 80 m L= 80

Diferencia Algebraica de las Pendientes:

A= P1-P2
A= -5.4000

Utilizando la fórmula:

$$Z_n = Z_o + ((P1/100) + (A \cdot I) / (200 \cdot L)) \cdot I$$

Realizando los Calculos en la siguiente Tabla

Por lo tanto se tiene que:

PCV= 4+180.000 **ELEV=** 2,428.167

Se tomarán las estaciones para el cálculo @ 8.00 m.

I	n	Zo	P1	L	Zn
4+180.000	0	2,428.17	-5.5	80	2,428.167
4+188.000	8.00	2,428.17	-5.5	80	2,427.749
4+196.000	16.00	2,428.17	-5.5	80	2,427.373
4+204.000	24.00	2,428.17	-5.5	80	2,427.041
4+212.000	32.00	2,428.17	-5.5	80	2,426.753
4+220.000	40.00	2,428.17	-5.5	80	2,426.507
4+228.000	48.00	2,428.17	-5.5	80	2,426.305
4+236.000	56.00	2,428.17	-5.5	80	2,426.145
4+244.000	64.00	2,428.17	-5.5	80	2,426.029
4+252.000	72.00	2,428.17	-5.5	80	2,425.957
4+260.000	80.00	2,428.17	-5.5	80	2,425.927

CÁLCULO DE LA CURVA VERTICAL

CURVA NÚMERO:

CV-05 CURVA EN COLUMPIO

DATOS:

V= 60 Km/hr
P1= -0.1000 %
P2= 1.8000 %
PIV= 4+820.000 **ELEV=** 2,426.567

CALCULANDO

Longitud Mínima de la Curva:

FIG. 004.7 (Normas de Servicios Técnicos)

Proyecto Geometrico.

L= 40 m

Por conveniencia se tomara la

la longitud de la curva de

L= 80 m

Diferencia Algebraica de las Pendientes:

A= P1-P2

A= -1.9000

Utilizando la fórmula:

$$Z_n = Z_o + ((P1/100) + (A*I)/(200*L)) * I$$

Realizando los Calculos en la siguiente Tabla

Por lo tanto se tiene que:

PCV= 4+780.000

ELEV= 2,426.527

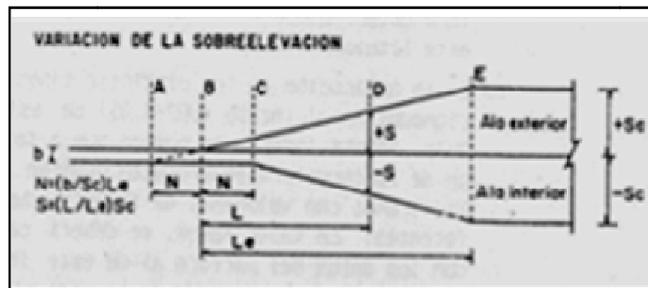
Se tomarán las estaciones para el cálculo @ 8.00 m.

I	n	Zo	P1	L	Zn
4+780.000	0	2,426.53	-0.1	80	2,426.527
4+788.000	8.00	2,426.53	-0.1	80	2,426.527
4+796.000	16.00	2,426.53	-0.1	80	2,426.541
4+804.000	24.00	2,426.53	-0.1	80	2,426.571
4+812.000	32.00	2,426.53	-0.1	80	2,426.617
4+820.000	40.00	2,426.53	-0.1	80	2,426.677
4+828.000	48.00	2,426.53	-0.1	80	2,426.753
4+836.000	56.00	2,426.53	-0.1	80	2,426.843
4+844.000	64.00	2,426.53	-0.1	80	2,426.949
4+852.000	72.00	2,426.53	-0.1	80	2,427.071
4+860.000	80.00	2,426.53	-0.1	80	2,427.207

8.2.3. Cálculo de sobre-elevaciones y sobre-anchos.

En las curvas circulares, el ancho real que ocupan en la corona es mayor que el que se emplea en tangente, por ello la corona se amplía de acuerdo con el grado de curvatura de la curva circular. Esta ampliación se coloca hacia afuera de la curva, pero debe de tener una transición de cero en la tangente a la totalidad de la ampliación al inicio de la curva circular. Esta transición se da a lo largo de la curva espiral en proporción a su longitud, lo mismo se hace sobre la espiral de salida, pero en sentido contrario.

El cálculo de la sobre-elevación y el sobre-ancho de cada sección a nivel de la corona se presenta a continuación, las formulas que se emplearan para el cálculo de las sobre-elevaciones y sobre-anchos serán las siguientes.



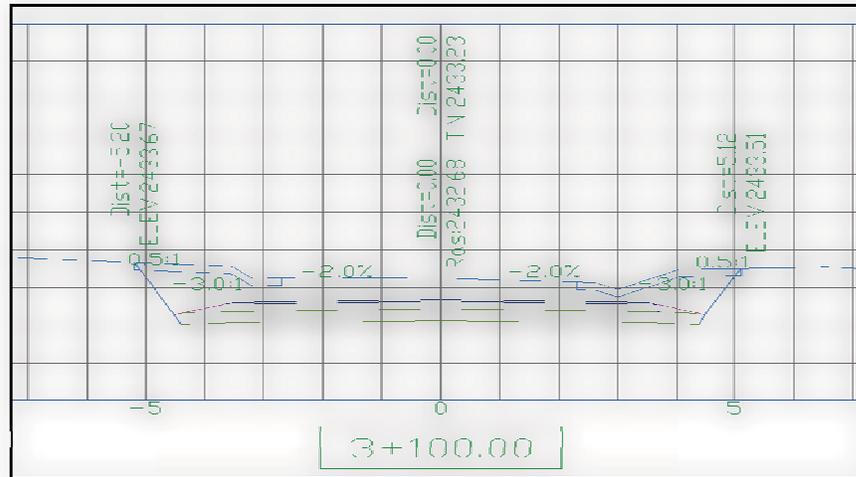
Fórmula para la sobre-elevación.

Fórmula para el sobre-ancho.

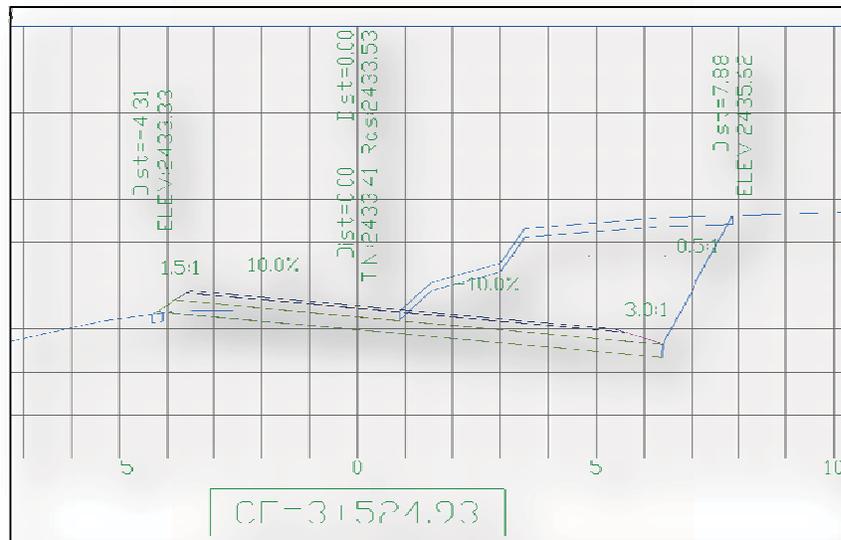
$$S = \frac{L}{L_c} Sc$$

$$A = \frac{L}{L_c} Ac$$

Sección transversal de una tangente sin sobre-elevación en la corona.



Sección transversal de la corona con sobre-elevación y sobre-ancho en curva.



SOBREELEVACIONES Y SOBREANCHOS

EST	G _c	VEL. DE PROY.	SOBREELEV (%)		AMPLIACION		Le	ANCHO NORMAL		IZR.	DER
			IZQ	DER	IZQ	DER		IZQ	DER		
TRAMO											
3+000.00			-0.70%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+002.23	30°0' 0"	40 Km/h	0.00%	-2.00%	0.00	0.00	32.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+020.00	30°0' 0"	40 Km/h	5.60%	-5.60%	0.00	1.26	32.00 m	3.50	3.50	3.50	4.76
3+034.23	30°0' 0"	40 Km/h	10.00%	-10.00%	0.00	1.90	32.00 m	3.50	3.50	3.50	5.40
3+040.00	30°0' 0"	40 Km/h	10.00%	-10.00%	0.00	1.90	32.00 m	3.50	3.50	3.50	5.40
3+045.13	30°0' 0"	40 Km/h	10.00%	-10.00%	0.00	1.90	32.00 m	3.50	3.50	3.50	5.40
3+060.00	30°0' 0"	40 Km/h	5.40%	-5.40%	0.00	1.30	32.00 m	3.50	3.50	3.50	4.80
3+077.13	30°0' 0"	40 Km/h	0.00%	-2.00%	0.00	0.00	32.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+080.00			-0.90%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+083.53			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+100.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+120.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+140.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+160.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+180.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+200.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+220.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+240.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+260.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+280.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+300.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+320.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+340.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+360.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+380.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+400.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+420.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+440.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+460.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50

EST	G _c	VEL. DE PROJ.	SOBREELEV (%)		AMPLIACION		Le	ANCHO NORMAL		HO CON AMPL.	
			IZQ	DER	IZQ	DER		IZQ	DER	IZR.	DER
TRAMO											
3+480.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+484.02			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+490.42	30°0' 0"	40 Km/h	0.00%	-2.00%	0.00	0.00	32.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+500.00	30°0' 0"	40 Km/h	3.00%	-3.00%	0.00	0.71	32.00 m	3.50	3.50	3.50	4.21
3+520.00	30°0' 0"	40 Km/h	9.20%	-9.20%	0.00	1.88	32.00 m	3.50	3.50	3.50	5.38
3+522.42	30°0' 0"	40 Km/h	10.00%	-10.00%	0.00	1.90	32.00 m	3.50	3.50	3.50	5.40
3+524.93	30°0' 0"	40 Km/h	10.00%	-10.00%	0.00	1.90	32.00 m	3.50	3.50	3.50	5.40
3+540.00	30°0' 0"	40 Km/h	5.30%	-5.30%	0.00	1.24	32.00 m	3.50	3.50	3.50	4.74
3+556.93	30°0' 0"	40 Km/h	0.00%	-2.00%	0.00	0.00	32.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+560.00			-1.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+563.33			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+566.16			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+574.11	7°30' 0"	50 Km/h	-2.00%	0.00%	0.00	0.00	29.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+580.00	7°30' 0"	50 Km/h	-2.00%	1.50%	0.29	0.00	29.00 m	3.50	3.50	3.79	3.50
3+600.00	7°30' 0"	50 Km/h	-6.50%	6.50%	0.78	0.00	29.00 m	3.50	3.50	4.28	3.50
3+603.11	7°30' 0"	50 Km/h	-7.30%	7.30%	0.80	0.00	29.00 m	3.50	3.50	4.30	3.50
3+620.00	7°30' 0"	50 Km/h	-7.30%	7.30%	0.80	0.00	29.00 m	3.50	3.50	4.30	3.50
3+622.28	7°30' 0"	50 Km/h	-7.30%	7.30%	0.80	0.00	29.00 m	3.50	3.50	4.30	3.50
3+640.00	7°30' 0"	50 Km/h	-2.80%	2.80%	0.52	0.00	29.00 m	3.50	3.50	4.02	3.50
3+651.28	7°30' 0"	50 Km/h	-2.00%	0.00%	0.00	0.00	29.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+659.23			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+660.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+680.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+687.12			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+696.70	4°45' 0"	60 Km/h	0.00%	-2.00%	0.00	0.00	34.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+700.00	4°45' 0"	60 Km/h	0.70%	-2.00%	0.00	0.09	34.00 m	3.50	3.50	3.50	3.59
3+720.00	4°45' 0"	60 Km/h	4.90%	-4.90%	0.00	0.52	34.00 m	3.50	3.50	3.50	4.02
3+730.70	4°45' 0"	60 Km/h	7.10%	-7.10%	0.00	0.60	34.00 m	3.50	3.50	3.50	4.10
3+740.00	4°45' 0"	60 Km/h	7.10%	-7.10%	0.00	0.60	34.00 m	3.50	3.50	3.50	4.10
3+760.00	4°45' 0"	60 Km/h	7.10%	-7.10%	0.00	0.60	34.00 m	3.50	3.50	3.50	4.10
3+763.00	4°45' 0"	60 Km/h	7.10%	-7.10%	0.00	0.60	34.00 m	3.50	3.50	3.50	4.10
3+780.00	4°45' 0"	60 Km/h	3.50%	-3.50%	0.00	0.41	34.00 m	3.50	3.50	3.50	3.91
3+797.00	4°45' 0"	60 Km/h	0.00%	-2.00%	0.00	0.00	34.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+800.00			-0.60%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+806.58			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+820.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+838.50			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50

EST	G _c	VEL. DE PROJ.	SOBREELEV (%)		AMPLIACION		Le	ANCHO NORMAL		HO CON AMPL.	
			IZQ	DER	IZQ	DER		IZQ	DER	IZR.	DER
TRAMO											
3+840.00			-2.00%	-1.70%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
3+848.08	4° 45' 0"	60 Km/h	-2.00%	0.00%	0.00	0.00	34.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
3+860.00	4° 45' 0"	60 Km/h	-2.50%	2.50%	0.32	0.00	34.00 m	3.50	3.50	3.82	3.50
3+880.00	4° 45' 0"	60 Km/h	-6.70%	6.70%	0.59	0.00	34.00 m	3.50	3.50	4.09	3.50
3+882.08	4° 45' 0"	60 Km/h	-7.10%	7.10%	0.60	0.00	34.00 m	3.50	3.50	4.10	3.50
3+900.00	4° 45' 0"	60 Km/h	-7.10%	7.10%	0.60	0.00	34.00 m	3.50	3.50	4.10	3.50
3+920.00	4° 45' 0"	60 Km/h	-7.10%	7.10%	0.60	0.00	34.00 m	3.50	3.50	4.10	3.50
3+940.00	4° 45' 0"	60 Km/h	-7.10%	7.10%	0.60	0.00	34.00 m	3.50	3.50	4.10	3.50
3+959.39	4° 45' 0"	60 Km/h	-7.10%	7.10%	0.60	0.00	34.00 m	3.50	3.50	4.10	3.50
3+960.00	4° 45' 0"	60 Km/h	-7.00%	7.00%	0.58	0.00	34.00 m	3.50	3.50	4.08	3.50
3+980.00	4° 45' 0"	60 Km/h	-2.80%	2.80%	0.37	0.00	34.00 m	3.50	3.50	3.87	3.50
3+993.39	4° 45' 0"	60 Km/h	-2.00%	0.00%	0.00	0.00	34.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
4+000.00			-2.00%	-1.40%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+002.97			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+020.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+040.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+060.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+080.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+100.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+120.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+140.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+160.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+180.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+200.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+220.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+240.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+260.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+280.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+300.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+320.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+340.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+347.51			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+360.00			-2.00%	-0.30%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+362.43	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.00%	0.00%	0.00	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
4+380.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.40%	2.40%	0.16	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.66	3.50
4+388.54	2° 0' 0"	90 Km/h	-3.50%	3.50%	0.25	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.75	3.50
4+400.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-5.00%	5.00%	0.49	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.99	3.50
4+412.43	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.70%	6.70%	0.50	0.00	50.00 m	3.50	3.50	4.00	3.50
4+420.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.70%	6.70%	0.50	0.00	50.00 m	3.50	3.50	4.00	3.50
4+436.33	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.70%	6.70%	0.50	0.00	50.00 m	3.50	3.50	4.00	3.50
4+440.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.20%	6.20%	0.50	0.00	50.00 m	3.50	3.50	4.00	3.50
4+460.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-3.50%	3.50%	0.26	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.76	3.50
4+460.22	2° 0' 0"	90 Km/h	-3.50%	3.50%	0.25	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.75	3.50
4+480.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.00%	0.80%	0.06	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.56	3.50
4+486.33	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.00%	0.00%	0.00	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
4+500.00			-2.00%	1.80%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50

EST	G _c	VEL. DE PROJ.	SOBREELEV (%)		AMPLIACION		Le	ANCHO NORMAL		HO CON AMPL.	
			IZQ	DER	IZQ	DER		IZQ	DER	IZR.	DER
TRAMO											
4+501.25			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+520.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+540.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+560.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+580.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+600.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+620.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+640.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+660.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+680.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+684.19			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+699.11	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.00%	0.00%	0.00	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
4+700.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.00%	0.10%	0.01	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.51	3.50
4+720.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.80%	2.80%	0.21	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.71	3.50
4+740.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-5.50%	5.50%	0.42	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.92	3.50
4+743.79	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.00%	6.00%	0.46	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.96	3.50
4+749.11	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.70%	6.70%	0.50	0.00	50.00 m	3.50	3.50	4.00	3.50
4+754.42	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.70%	6.70%	0.50	0.00	50.00 m	3.50	3.50	4.00	3.50
4+759.74	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.00%	6.00%	0.46	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.96	3.50
4+760.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-6.00%	6.00%	0.46	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.96	3.50
4+780.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-3.30%	3.30%	0.24	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.74	3.50
4+800.00	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.00%	0.60%	0.04	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.54	3.50
4+804.42	2° 0' 0"	90 Km/h	-2.00%	0.00%	0.00	0.00	50.00 m	3.50	3.50	3.50	3.50
4+819.34			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+820.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+840.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+860.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+880.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+900.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+920.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+940.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+960.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
4+980.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50
5+000.00			-2.00%	-2.00%	0.00	0.00		3.50	3.50	3.50	3.50

8.3. Estudio hidráulico.

Para esta vialidad se diseñarán 2 obras de drenaje, las cuales se diseñarán para un gasto hidrológico de 1.613 y 27.905 m³/s, de estas una se propone a base de tubo de polietileno de alta densidad de 1.20 metros de diámetro y la otra será losa de concreto de 2x1 metros (siendo 2 metros el claro y 1 metro la altura).

Para el estudio hidráulico, de cada obra de drenaje a diseñar, se calculará el gasto hidráulico utilizando la fórmula de Manning.

$$Q = AR^{\frac{2}{3}}s^{\frac{1}{2}}\frac{1}{n}$$

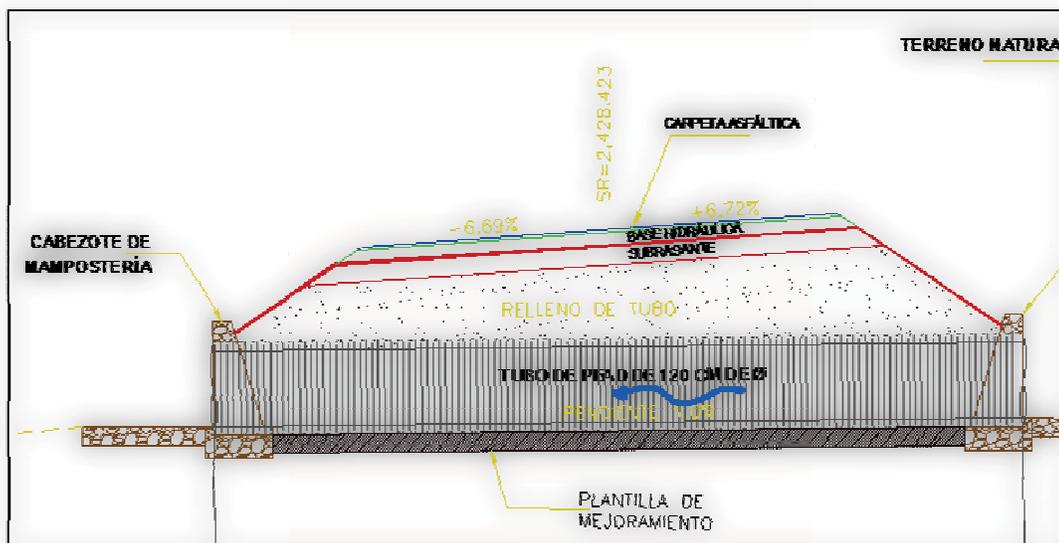
GASTO HIDRÁULICO											
OBRA No.	LOCALIZACIÓN	DIMENSIONES (m)		CANT.	ÁREA HCA. (m ²)	PENDIENTE %	PENDIENTE (s)	n	PERÍMETRO (m)	RADIO HCO. (m)	Qmáx. (m ³ /s)
1	3+925.82	φ =	1.2	1.0	0.9099	1.0	0.010	0.009	2.513	0.362	5.135
2	4+997.41		L 2.0x1.0	1.0	2.0000	6.0	0.060	0.011	4.000	0.500	28.056

Con la finalidad de verificar si la capacidad de las obras de drenaje transversal a diseñar es suficiente para el gasto de aportación de las cuencas, se realizará una comparación entre los gastos hidrológico e hidráulico.

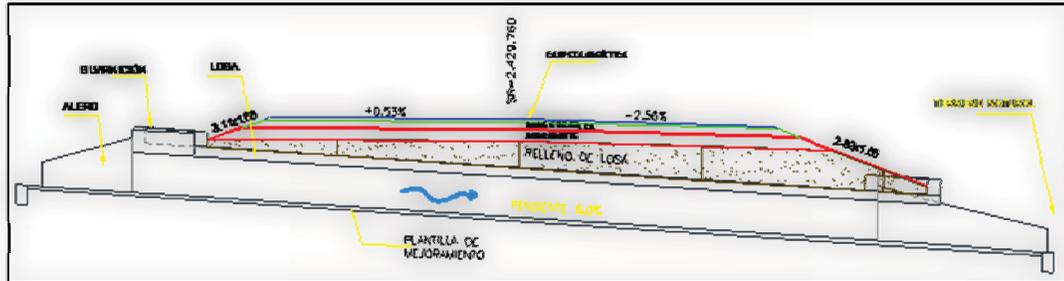
COMPARACIÓN DE GASTOS (HIDROLÓGICO VS PROYECTO)					
ESTACIÓN	OBRA No.	Tr = 50 años		EVALUACIÓN DE LA OBRA	
		Qmáx. Hidrológico	Qmáx. Hidráulico	SUFICIENTE	INSUFICIENTE
3+925.82	1	1.613	5.135	SÍ	
4+997.41	2	27.905	28.056	SÍ	

La capacidad de gasto hidráulico de cada una de las obras es mayor que el gasto hidrológico aportado por las cuencas, por tal motivo se dice que es suficiente y trabajara de buena forma la obra de drenaje.

Se presenta la obra a diseñar, tubo de polietileno de alta densidad de 1.20 m ϕ que se encuentra en el Km 3+925.823.



La segunda obra es la losa la cual tiene dimensiones de 2x1 m y se encuentra en el Km 4+997.411.



El diseño detallado de las obras de drenaje del camino Cd. Hidalgo – Casas Pintas, se presenta en el plano No 04 y 05.

8.4. Estudio de pavimento.

De cada uno de los sondeos que se realizan, se deberán obtener muestras alteradas, a las cuales se les determina su peso volumétrico seco suelto y máximo, granulometría, límites de consistencia, valor relativo de soporte, equivalente de arena, humedad óptima y clasificación SUCS.

8.4.1. Valor relativo de soporte crítico (Vrs).

Para la determinación del VRS crítico de diseño del terreno natural, se tendrá que utilizar la fórmula que propone el Método del Instituto de Ingeniería de la UNAM, la cual es la siguiente:

$$VRS_{CRÍTICO} = X (1 - 0.84V)$$

Con la fórmula anterior, se calcularán todos los VRS críticos del terreno natural, de los cuales se obtuvieron los siguientes resultados:

DETERMINACIÓN DEL VRS CRÍTICO		
No. SONDEO	KILOMETRO	CAPA TERRENO NATURAL
1	3+000	8
2	3+500	8
3	4+000	19
4	4+500	19
5	5+000	33
VRS PROMEDIO (%) =X		17
DESVIACIÓN ESTÁNDAR=S		10.31
COEFICIENTE DE VARIACIÓN=S/X=V		0.59
VRS CRÍTICO (%)=X*(1-0.84V)		9

8.4.2. Análisis del tránsito.

El cálculo del TDPA del camino en estudio se obtendrá mediante el volumen horario promedio (VHP), con el cual se considera un volumen horario que pueda presentarse el número de veces máximo en el año. En nuestro caso, se realizará un promedio del total de vehículos contabilizados en los aforos realizados por periodo de 8 horas durante tres días. Una vez obtenido el volumen horario promedio, se calculará el TDPA de cada uno de los sentidos, utilizando la siguiente fórmula:

$$TDPA = \frac{VHP}{k}$$

Para el valor de k se puede tomar de los siguientes valores:

Para carreteras suburbanas: $k=0.08$

Para carreteras rurales secundarias: $k=0.12$

Para carreteras rurales principales: $k=0.16$

Para este estudio, se tomará el valor de $k=0.12$ que corresponde a carreteras rurales secundarias, el volumen horario promedio se determina del aforo de los tres días o sea del total de vehículos con un total de 8 hrs por día.

Total de vehículos por día	Día 1	Día 2	Día 3
Σ de vehículos	495	497	500

$$VHP = \frac{\Sigma \text{VEHICULOS}}{\Sigma \text{HORAS}}$$

VOLUMEN HORARIO PROMEDIO (VHP)	62
---------------------------------------	-----------

$$TDPA = \frac{VHP}{k}$$

TDPA	518
-------------	------------

Con base en estos parámetros, se obtuvo un TDPA de 518 vehículos.

8.4.2.1. Tasa de crecimiento.

Debido a que no existen antecedentes de tránsito en este camino, para determinar la tasa de crecimiento, se basó en los antecedentes de tránsito en años anteriores obtenidos del libro de Datos Viales de la SCT de la Carretera: Toluca - Morelia, lugar Ciudad Hidalgo, obteniendo una tasa de crecimiento de diseño basada en los años de 2002 a 2009.

OBTENCIÓN DE LA TASA DE CRECIMIENTO

$$\text{Tasa de crecimiento anual} = \left(\left(\frac{N2}{N1} \right) - 1 \right) * 100$$

AÑO	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009
TDPA	7872	8030	8275	7884	7943	8510	8065	8714
TASA DE CRECIMIENTO ANUAL (%)		2.01	3.05	-4.73	0.75	7.14	-5.23	8.05

$$\text{Tasa de crecimiento de diseño} = \frac{\sum \text{tasa de crecimiento anual}}{N^{\circ} \text{tasas de crecimiento anual}}$$

TASA DE CRECIMIENTO DE DISEÑO BASADA EN LOS AÑOS DE	2002	A	2009	=	1.58 (%)
---	------	---	------	---	----------

8.5. Diseño del pavimento por el método del instituto de ingeniería de la UNAM.

Propuesta estructural del pavimento por el método de la UNAM.

1.- Tipo de carretera.

El programa propone dos opciones, las cuales son las siguientes:

1. diseño de carreteras de altas especificaciones en las cuales se requiere conservar un nivel de servicio alto de la superficie de rodamiento, durante toda la

vida de servicio. Al término de la vida de proyecto la deformación esperada con éste modelo de diseño es del orden de $\Delta 20 = 1.2$ cm, con agrietamiento ligero o medio.

2. diseño en carreteras normales en donde la deformación permanente esperada, al término de la vida de proyecto, es de $\Delta 20 = 2.5$ cm., con agrietamiento medio o fuerte

Es necesario elegir materiales de construcción de muy buena calidad; emplear un diseño correcto en las mezclas asfálticas, para tener una mayor confiabilidad en el proyecto.

El programa tiene dos opciones de diseño, según el tipo de camino.

1. Caminos de altas especificaciones, en los que se desea conservar un nivel de servicio alto al final de la vida de proyecto (1.2 cm de deformación en la rodada y agrietamiento ligero a medio).
2. Caminos normales en los que se permiten deformaciones del orden de 2.5 cm en la rodada y agrietamiento medio a fuerte, al final de la vida de proyecto.

Introduzca el número correspondiente al tipo de camino : 2

Para nuestro diseño del camino ciudad hidalgo - casas pintas, utilizaremos la opción número dos, lo que significa que se diseñará un camino del tipo normal.

2.- Tránsito de proyecto

El método requiere de dos tránsitos de proyecto:

a) tránsito equivalente para el diseño por fatiga de las capas ligadas (daño superficial).

b) tránsito equivalente para el diseño por deformación permanente acumulada (daño profundo).

En el proceso de análisis se utilizara el "tránsito equivalente", usualmente referido a ejes sencillos con llantas gemelas y peso estándar de 8.2 t, el cual produce el mismo daño que el "tránsito mezclado" que se presenta en la realidad.

En carreteras de dos carriles, el tránsito del carril del proyecto se considera como la mitad del total que soportará la carretera.

Se requiere conocer el tránsito en el carril de proyecto en millones de ejes estándar (ejes sencillos de 8.2 toneladas).

Tiene dos opciones :

1. Si conoce el tránsito de proyecto, introducirlo directamente.
2. Calcularlo a partir del tránsito mezclado.

Introduzca el número correspondiente a su elección : 2_

En éste caso, para calcular los ejes equivalentes, utilizaremos la opción de calcularlo a partir del tránsito mezclado que ya conocemos.

Para calcular el tránsito equivalente, en el carril de proyecto, que deberá soportar la carretera durante su vida útil se dispone de dos alternativas:

a. Si se conocen los tránsitos equivalentes de 8.2 toneladas métricas (18,000 libras) en el carril de proyecto, basta simplemente introducirlos, anotando su valor en millones de ejes estándar, apretando después la tecla de entrada.

b. Si se desconocen dichos tránsitos equivalentes, se pueden estimar, empleando la subrutina incluida en el programa, a partir de otros datos.

De las anteriores alternativas, se utilizará la alternativa 2.}

Una vez seleccionada la alternativa anterior, ésta requiere los siguientes datos:

Tránsito diario promedio en el carril de proyecto, en número de vehículos.

TDPA = 518 vehículos en ambos sentidos.

TDPA de diseño = 259 vehículos.

Composición del tránsito, por tipo de vehículo, en por ciento.

Para esto, se utilizará la distribución vehicular que se obtuvo en el análisis del tránsito de éste estudio, la cual es la siguiente:

COMPOSICIÓN VEHICULAR

COMPOSICIÓN VEHICULAR	08-feb-11	09-feb-11	10-feb-11	TOTAL (%)
	AMBOS SENTIDOS			
AP	46.9%	46.9%	45.0%	46.25%
AC	42.6%	42.5%	43.8%	42.96%
B2	3.4%	3.2%	3.6%	3.42%
C2	3.8%	4.2%	4.0%	4.02%
C3	3.2%	3.2%	3.6%	3.35%
SUMA	100%	100%	100%	100.00%

Se utilizarán las cargas máximas autorizadas por la secretaría de comunicaciones y transportes (sct).

Proporción de vehículos cargados y vacíos.

En el diseño se utilizará una proporción de 80% de camiones cargados y 20% vacíos.

Tasa de crecimiento anual del tránsito, en por ciento.

La tasa de crecimiento que se utilizará, será la que se calculó en el análisis del tráfico, la cual resultó de 1.58%.

Período de proyecto, en años.

El periodo de proyecto para éste diseño será de 15 años.

Con todos los datos anteriores, se ingresaron al programa para obtener los ejes equivalentes a las diferentes profundidades.

```
Introduzca los siguientes datos :
TDPa en el carril de proyecto <en vehículos> : 259
Tasa de crecimiento anual del tránsito <en %> : 1.58
Periodo de proyecto, en años : 15

Se requiere conocer la composición del tránsito,
introduzca el porcentaje de cada tipo de vehículo.

Automovil      A : 89.2
Autobús       B2 : 3.4
              B3 :
              B4 :
Camión unitario C2 : 4.0
              C3 : 3.3
Camión remolque C2-R2 : -
              C3-R2 :
              C3-R3 :
              C2-R3 :

Tractocamión articulado
              T2-S1 :
              T2-S2 :
              T3-S2 :
              T3-S3 :

Tractocamión doblemente articulado
              T2-S1-R2 :
              T3-S1-R2 :
              T3-S2-R2 :
              T3-S2-R3 :
              T3-S2-R4 :
              T3-S3-S2 :
```

Los vehículos tipo A se supone que siempre están cargados.
 Los autobuses y vehículos de carga (tipos B, C y T), pueden circular vacíos en un cierto porcentaje de casos.
Se requiere conocer el porcentaje de camiones cargados en el carril de proyecto.
 Se tienen dos opciones:
 1. Emplear un porcentaje de vehículos cargados aplicable a todos los vehículos comerciales (un porcentaje promedio).
 2. Emplear un porcentaje de vehículos cargados para cada tipo de vehículo.
Introduzca la opción que desea aplicar (1 o 2): 1
 En ausencia de información más confiable se sugiere emplear una proporción de camiones cargados entre 60 y 80%, (entre 40 y 20% de camiones vacíos).
Introduzca la proporción de camiones cargados que juzgue correcta (%): 80

Una vez hecho lo anterior, se obtuvieron los ejes equivalentes a 5, 15, 30, 60, 90 y 120 centímetros.

Los resultados son los siguientes:

Tránsito de proyecto en millones de ejes estándar para una profundidad de :
 Z = 5 cm Z = 15 cm Z = 30 cm Z = 60 cm Z = 90 cm Z = 120 cm
 0.3 0.3 0.3 0.4 0.4 0.5
 Se sugiere emplear el tránsito de proyecto determinado a 15 y 90 cm para diseño por fatiga y deformación permanente, respectivamente. Pero usted puede tomar la profundidad más adecuada a su proyecto.
¿Acepta la sugerencia? (s/n) _

PROFUNDIDAD Z(cm)	EJES ACUMULADOS (10 ⁶)
	15 AÑOS
5	0.30
15	0.30
30	0.30
60	0.40
90	0.40
120	0.50

3.- Número de capas a considerar.

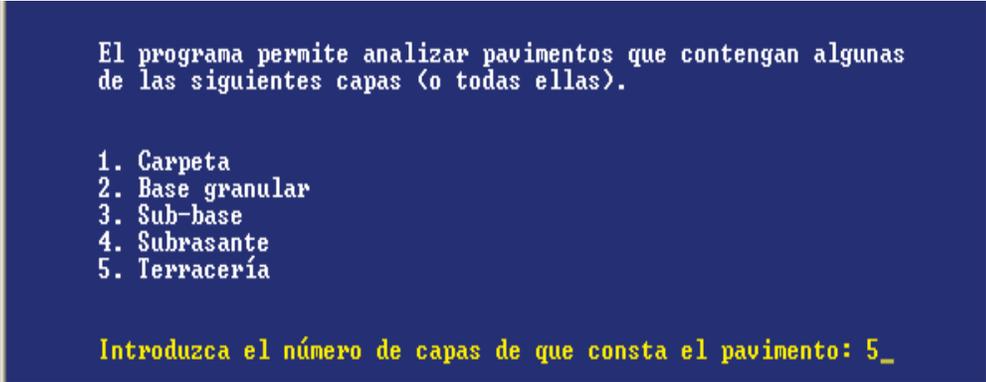
Para iniciar el diseño se piden las capas que se están considerando incluir.

Desde el punto de vista estructural es conveniente emplear un número de capas no mayor de cinco esto es para facilitar la construcción y conservación de la vida útil del proyecto.

De acuerdo con lo anterior, el programa dispav-5 está proyectado para analizar secciones estructurales con un máximo de cinco capas, las cuales son:

1. Carpeta asfáltica.
2. Base granular o estabilizada con asfalto.
3. Sub-base granular.
4. Subrasante.

El número mínimo de capas consideradas es dos, y una de ellas debe ser la terracería y por consiguiente la otra debe ser la carpeta o base.



```
El programa permite analizar pavimentos que contengan algunas
de las siguientes capas (o todas ellas).
```

- ```
1. Carpeta
2. Base granular
3. Sub-base
4. Subrasante
5. Terracería
```

```
Introduzca el número de capas de que consta el pavimento: 5_
```

Para el diseño utilizaremos cinco capas de inicio y al final desecharemos o añadiremos capas de acuerdo a los resultados que se obtengan.

#### 4.- Valores relativos de soporte, vrs.

A continuación se piden los valores relativos de soporte críticos de cada una de las capas no estabilizadas.

En este punto el programa revisa los valores relativos de soporte críticos introducidos (Vrsz), en relación con los valores máximos y mínimos permisibles para cada capa. Para nuestro diseño se tomarán los siguientes Vrs críticos para cada una de las capas.

|                                              |     |
|----------------------------------------------|-----|
| Terreno natural                              | 9%  |
| Material de banco para subrasante            | 20% |
| Material hidráulico para sub-base hidráulica | 50% |
| Material de banco para base hidráulica       | 80% |

| Capa          | URSz | URSp | Mod de rigidez |
|---------------|------|------|----------------|
| Carpeta       |      |      |                |
| Base granular | 80   | 80   |                |
| Sub-base      | 50   | 30   |                |
| Subrasante    | 20   | 20   |                |
| Terracería    | 9    | 9    |                |

Por razones de estructuración, se establecen URSp de proyecto (mínimos y máximos) en las capas no asfálticas. Si el URSz < URSp el diseño no puede efectuarse; y si URSz > URSp el diseño se hace con URSp.

Se requiere el módulo de rigidez de la carpeta; si no tiene estimado su valor debe terminar esta corrida para hacerlo. En ese caso apriete solo la tecla de entrada.

Los Vrs de las capas del pavimento se proponen con los valores anteriores, dado que se tienen menos de un millón de ejes equivalentes.

## 5.- Módulos elásticos de las capas no estabilizadas.

Para el diseño por fatiga se requieren encontrar las deformaciones unitarias críticas de tensión en la parte inferior de la carpeta. Para esto se necesita conocer el módulo de rigidez (módulo elástico) de las capas no estabilizadas. En caso de que no se tenga una estimación fundamentada de ese valor se presenta al usuario la opción de estimarlo a partir del Vrsz crítico esperado en el lugar, de acuerdo con el modelo desarrollado en el instituto de ingeniería, UNAM es igual a:

$$E = 130 \text{ VRSZ}^{0.70}$$

Con la anterior fórmula, se obtuvieron los siguientes resultados:

|                                         |       |
|-----------------------------------------|-------|
| Modulo de rigidez de terreno natural    | 605.  |
| Modulo de rigidez de la sub-rasante     | 1058. |
| Modulo de rigidez de la sub-base        | 2010. |
| Modulo de rigidez de la base hidráulica | 2793. |

## 6.- Módulo de rigidez de la carpeta.

Para fines de cálculo estructural, cuando se utiliza carpeta asfáltica se requiere introducir el módulo de rigidez, o módulo dinámico, en kg/cm<sup>2</sup>. La estimación del módulo de rigidez de proyecto es un procedimiento que debe hacerse con mucho cuidado, ya que debe representar el comportamiento de dicha capa en condiciones de servicio, durante la vida útil de la carretera.

Para nuestro caso se utilizará un módulo dinámico de 30,000 kg/cm<sup>2</sup>.

## 7.- relaciones de poisson.

También se necesita la relación de poisson de todas las capas. Este parámetro es difícil de determinar experimentalmente ya que se requieren maquinas de prueba con una instrumentación que permita medir con precisión las deformaciones resilientes vertical y horizontal. El programa suministra valores promedio para cada capa y permite al usuario modificar esos valores en caso de contar con información confiable de ese parámetro para los materiales específicos que emplea.

Para éste diseño se utilizarán los valores proporcionados por el programa de diseño.

```
Capa URSz URSp Mod de rigidez Poisson
Carpeta 30000
Base granular 80 80 2793 0.35
Sub-base 50 30 2010 0.45
Subrasante 20 20 1058 0.45
Terracería 9 9 605 0.45

Se proponen valores para las relaciones de Poisson de cada capa,
puede modificarlas si así lo desea.

¿Quiere hacer algún cambio? (s/n) _

Se proponen valores para las relaciones de Poisson de cada capa,
puede modificarlas si así lo desea.

¿Quiere hacer algún cambio? (s/n) _
```

## 8.- Nivel de confianza del proyecto.

Se sugiere el empleo de un nivel de 85 por ciento, pero el método permite al usuario el empleo de cualquier nivel entre 50 y 99 por ciento. Con este dato termina

la entrada de datos del proyecto por deformación permanente y se pasa al cálculo de espesores.

Para éste diseño se utilizará un nivel de confianza del 90%.

```
El método permite elegir el nivel de confianza del proyecto.
Se sugiere emplear un nivel de confianza de 85%, pero puede
emplear otro nivel (entre 50 y 99%).

¿Quiere cambiar el nivel sugerido? (s/n) S

Introduzca el nivel de confianza que prefiere (50 <= NIU <= 99) :90
```

Con éste dato termina la entrada de datos del proyecto por deformación permanente y se pasa al cálculo de espesores.

### 9.- Cálculo de espesores.

Una vez considerado todos los parámetros anteriores, se procedera al cálculo de espesores, teniendo los siguientes resultados para el diseño por deformación.

Diseño por deformación:

```
 Diseño propuesto
Capa Esp. diseño
 (cm)
Carpeta 4.9
Base granular 3.9
Sub-base 7.2
Subrasante 15.7

La Base granular requiere solo 3.9 cm.
¿Quiere eliminar esa capa? (s/n) _
```

Obtenidos los resultados de la ventana anterior, se propone eliminar la capa de sub-base hidráulica, y con esto solo tener una capa de base hidráulica para éste

diseño, por lo tanto los espesores de proyecto para el diseño por deformación se presentan en la siguiente ventana:

```

Diseño por deformación para un camino de tipo normal,
con un nivel de confianza de 90 %

Para un tránsito de proyecto de 0.4 millones de ejes estándar

 Capa Espesor calculado Espesor proyecto
Carpeta 4.9 4.9
Base granular 11.1 15.0
Subrasante 15.7 20.0

Los espesores de capa calculados se ajustan a un espesor constructivo
mínimo, el cual depende de la capa y del tránsito de proyecto.

El diseño anterior previene contra la deformación excesiva.

A continuación debe revisarlo para prevenir el agrietamiento
por fatiga, a menos que empleando un tratamiento superficial.

¿Quiere hacerlo así? <s/n> _

```

Para el diseño por deformación se obtuvieron resultados de 4.9 cm. de carpeta, 15 cm de base hidráulica y 20 cm de subrasante.

### 10.- Diseño por fatiga

Para el diseño por fatiga, se utilizará un espesor para la carpeta de 5 cm, 20 cm de base hidráulica y 30 cm de subrasante, para observar si con estos espesores es suficiente para el diseño por fatiga.

```

DATOS Y RESULTADOS DEL DISEÑO

Camino de tipo normal. Nivel de confianza en el proyecto : 90 %

 Capa H URSz E U Uida previsible
 cm % kg/cm² Def Fatiga
Carpeta 5.0 80.0 30000 0.35 1.0
Base granular 20.0 20.0 2793 0.35 0.4
Subrasante 30.0 9.0 1058 0.45 6.4
Terracería Semi-inf 605 0.45 54.5

 Uida previsible Tránsito proyecto
Deformación 0.4 0.4
Fatiga 1.0 0.3

La vida previsible es cercana o mayor que la vida de proyecto
el diseño parece adecuado. La tolerancia es +/- 10% del tránsito
de proyecto crítico.

¿Quiere explorar otras alternativas? <s/n> _

```

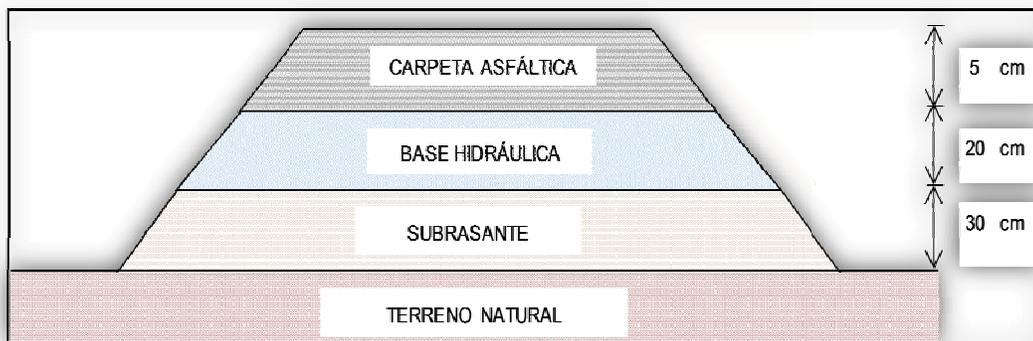
Para el diseño por fatiga se obtuvieron resultados de 5 cm de carpeta, 20 cm de base hidráulica y 30 cm de subrasante. Con lo cual se cumplen los requerimientos del programa dispav-5, basado en el método del instituto de ingeniería de la UNAM para deformación y fatiga del pavimento.

Por lo tanto el diseño final propuesto para el camino ciudad hidalgo - casas pintas es el siguiente:

### ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO PROPUESTA

#### ANÁLISIS DE RESULTADOS DEL PAVIMENTO

| MÉTODO DE DISEÑO          | ESPEORES REQUERIDOS (cm) |                 |            |
|---------------------------|--------------------------|-----------------|------------|
|                           | CARPETA ASFÁLTICA        | BASE HIDRÁULICA | SUBRASANTE |
| INSTITUTO INGENIERIA UNAM | 5                        | 20              | 30         |



## **CONCLUSIONES.**

El diseño de una vía de comunicación o vía terrestre es una rama de la ingeniería civil que sin lugar a dudas abarca un gran número de especialidades que van de la mano para su ejecución siendo el ingeniero civil común denominador.

Algunas de las principales ramas de la ingeniería civil que se emplean en proyectos carreteros y por lo general en la mayoría de las construcciones son; la topografía la cual permite diseñar lo que es el proyecto geométrico, referencias de trazo, diseño de curvas y perfiles, la geotecnia que es fundamental para conocer las propiedades de los suelos en los cuales se desplantara la estructura, la hidrología que de acuerdo a características fisiográficas e hidráulicas nos permite diseñar obras de drenaje con los gastos máximos registrados etc.

De acuerdo a las necesidades que se registraron en el tramo carretero de este estudio y con base a la pregunta de investigación suscitada, se llega a la conclusión de que la propuesta de alternativa de este proyecto es factible de acuerdo al tránsito de proyecto registrado y al tipo de vehículos que transitan por dicha vía, se propone una carretera de clasificación del tipo c con una velocidad de proyecto de 40 a 90 km/hr, que a su vez maximiza el confort y rapidez, por ende, reduce el tiempo de traslado y aumentando la vida útil del vehículo.

El desarrollo del proyecto de infraestructura puede influenciar de manera importante las condiciones del camino, maximizando las posibilidades del crecimiento urbano y rural de la zona, concertándola con el entorno. Lográndose niveles de seguridad, comodidad y estética necesarios para el camino que tenga los niveles de serviciabilidad adecuados para los volúmenes de tránsito actuales, garantizando su funcionalidad mientras cumple su vida útil.

En vista que el tramo en estudio posee un alineamiento vertical y horizontal con condiciones favorables para su buen funcionamiento, se concluye que se mantendrán las condiciones existentes para no generar muchos cambios que afecten en gran forma las propiedades aledañas a la vía, atendiendo a la vez las normas en base a la clasificación de la carretera.

Del estudio hidrológico se obtuvieron los datos en cuanto a precipitación y escorrentía superficial, siendo estos los más precisos y en base a los caudales que llegan a la carretera, se calcularon las obras de drenaje para su evaluación y prolongar la vida útil de la obra.

Para el Diseño Estructural del Pavimento, el método utilizado es confiable sin embargo existen otros métodos de diseño ya que se baso en las características propias de la zona como es: las propiedades de la subrasante que se fundamenta en el valor relativo de soporte y el tránsito promedio diario anual que transitará por la vía proyectada, con los cuales se propuso la estructura final del pavimento.

En resumen, se concluye que desarrollo vial de propuesta de desarrollo del tramo Ciudad Hidalgo – Casas Pintas, es factible en cuanto al diseño geométrico propuesto y respecto al diseño de pavimento es el óptimo para las cargas dinámicas que en este caso es el tránsito y peso propio de la estructura, ya que el método de la UNAM, toma las medidas adecuadas en el espesor y la calidad de los materiales para cumplir con la normas.

La alternativa de la ruta estudiada en esta tesis, operará a un nivel de servicio del tipo C, para el año horizonte proyectado de quince años.

## **BIBLIOGRAFÍA.**

Aparicio, (2005).

Fundamentos de Hidrología de Superficie

Ed. Limusa, México.

Carlos Crespo Villalaz (, 2010).

Vías de Comunicación: Caminos, ferrocarriles, aeropuertos, puentes y puertos.

Ed. Limusa, México.

Gordon Keller, James sherar, (2004).

Ingeniería de caminos rurales.

Versión en español producida por:

Instituto Mexicano del Transporte.

Juárez Badillo. Tomo 1 y 2 (2002).

Mecánica de suelos.

Ed. Limusa, México.

Jurado Rojas, Yolanda (2005).

Técnicas de investigación documental.

Ed. Thomson. México.

Luis M. Navarro Sánchez, (2007).

Análisis de materiales.

Segunda edición, Morelia Mich. México.

Mendieta a la Torre Ángeles (2005).

Métodos de investigación y manual académico.

Ed. Porrúa. México.

Secretaría de Comunicaciones y Transportes, (1991)

Manual de Proyecto Geométrico de Carreteras.

México.

Secretaría de comunicaciones y transportes (2004).

Normativa para la infraestructura del transporte.

México.

Rico del castillo vol. 1 (2003).

La ingeniería de suelos en las vías terrestres.

México.

Zárate Aquino Manuel (2003).

Diseño de pavimentos flexibles.

Ed. Limusa. México.

## OTRAS FUENTES DE INFORMACION

<http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Ciclo-del-agua.jpg>

[http://dgst.sct.gob.mx/fileadmin/viales2002/michoacan\\_02.pdf](http://dgst.sct.gob.mx/fileadmin/viales2002/michoacan_02.pdf)

<http://aplicaciones.iingen.unam.mx/ConsultasSPII/BuscarPublicacion.aspx>

<http://dgst.sct.gob.mx/index.php?id=459>

<http://www.imt.mx/>

[http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo\\_hidrol%C3%B3gico](http://es.wikipedia.org/wiki/Ciclo_hidrol%C3%B3gico)

# **ANEXOS**

## SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACIÓN DE SUELOS (S.U.C.S.) INCLUYENDO IDENTIFICACIÓN Y DESCRIPCIÓN

| DIVISIÓN MAYOR                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                                   | SÍMBOLO                                                           | NOMBRES TÍPICOS                                                                       | CRITERIO DE CLASIFICACIÓN EN EL LABORATORIO                                                                                 |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>SUELOS DE PARTICULAS GRUESAS</b><br>Más de la mitad del material es retenido en la malla número 200 ⊕ | <b>GRAVAS</b><br>Más de la mitad de la fracción gruesa es retenida por la malla No. 4<br><br>PARA CLASIFICACIÓN VISUAL PUEDE USARSE 1/2 cm. COMO EQUIVALENTE A LA ABERTURA DE LA MALLA No. 4                                      | GRAVAS LIMPIA<br>Poco o nada de partículas finas                  | GW                                                                                    | Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos                                                    | COEFICIENTE DE UNIFORMIDAD Cu: mayor de 4.<br>COEFICIENTE DE CURVATURA Cc: entre 1 y 3.<br>$Cu = D_{60} / D_{10}$ $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$                |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                   | GP                                                                                    | Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena con poco o nada de finos                                                     |                                                                                                                                                                       | NO SATISFACEN TODOS LOS REQUISITOS DE GRADUACIÓN PARA GW.                                |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   | GRAVA CON FINOS<br>Cantidad apreciable de partículas finas        | *<br>GM                                                                               | d                                                                                                                           | Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo                                                                                                                        | LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A"<br>O I.P. MENOR QUE 4.                        | Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso de símbolos dobles. |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                   |                                                                                       | u                                                                                                                           |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   | GC                                                                | Gravas arcillosas, mezclas de gravas, arena y arcilla                                 | LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A"<br>CON I.P. MAYOR QUE 7.                                                        | de símbolos dobles.                                                                                                                                                   |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   | SW                                                                | Arenas bien graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos.                    |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       | $Cu = D_{60} / D_{10}$ mayor de 6 ; $Cc = (D_{30})^2 / (D_{10})(D_{60})$ entre 1 y 3.    |                                                                                                              |
|                                                                                                          | SP                                                                                                                                                                                                                                | Arenas mal graduadas, arena con gravas, con poca o nada de finos. | No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW                              |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          | ARENA CON FINOS<br>Cantidad apreciable de partículas finas                                                                                                                                                                        | *<br>SM                                                           | d                                                                                     | Arenas limosas, mezclas de arena y limo.                                                                                    | LÍMITES DE ATTERBERG ABAJO DE LA "LÍNEA A"<br>O I.P. MENOR QUE 4.                                                                                                     | Arriba de la "línea A" y con I.P. entre 4 y 7 son casos de frontera que requieren el uso |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                   | u                                                                                     |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   | SC                                                                | Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla.                                        | LÍMITES DE ATTERBERG ARRIBA DE LA "LÍNEA A"<br>CON I.P. MAYOR QUE 7.                                                        | de símbolos dobles.                                                                                                                                                   |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          | <b>SUELOS DE PARTICULAS FINAS</b><br>Más de la mitad del material pasa por la malla número 200 ⊕<br><br>Las partículas de 0.074 mm de diámetro (la malla No. 200) son, aproximadamente, las más pequeñas visibles a simple vista. | <b>LIMOS Y ARCILLAS</b><br>Límite Líquido menor de 50             | ML                                                                                    | Limos inorgánicos, polvo de roca, limos arenosos o arcillosos ligeramente plásticos.                                        | G – Grava, S – Arena, O – Suelo Orgánico, P – Turba, M – Limo<br>C – Arcilla, W – Bien Graduada, P – Mal Graduada, L – Baja Compresibilidad, H – Alta Compresibilidad |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                   | CL                                                                                    | Arcillas inorgánicas de baja o media plasticidad, arcillas con grava, arcillas arenosas, arcillas limosas, arcillas pobres. |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
| OL                                                                                                       |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                   | Limos orgánicos y arcillas limosas orgánicas de baja plasticidad.                     |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
| <b>LIMOS Y ARCILLAS</b><br>Límite Líquido Mayor de 50                                                    |                                                                                                                                                                                                                                   | MH                                                                | Limos inorgánicos, limos micáceos o diatomeos, más elásticos.                         |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   | CH                                                                | Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas francas.                           |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
|                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                   | OH                                                                | Arcillas orgánicas de media o alta plasticidad, limos orgánicos de media plasticidad. |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
| <b>SUELOS ALTAMENTE ORGÁNICOS</b>                                                                        |                                                                                                                                                                                                                                   | P                                                                 | Turbas y otros suelos altamente orgánicos.                                            |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |
| <b>CARTA DE PLASTICIDAD (S.U.C.S.)</b>                                                                   |                                                                                                                                                                                                                                   |                                                                   |                                                                                       |                                                                                                                             |                                                                                                                                                                       |                                                                                          |                                                                                                              |

\*\* CLASIFICACIÓN DE FRONTERA- LOS SUELOS QUE POSEAN LAS CARACTERÍSTICAS DE DOS GRUPOS SE DESIGNAN CON LA COMBINACIÓN DE LOS DOS SÍMBOLOS; POR EJEMPLO GW-GC, MEZCLA DE ARENA Y GRAVA BIEN GRADUADAS CON CEMENTANTE ARCILLOSO.

⊕ TODOS LOS TAMAÑOS DE LAS MALLAS EN ESTA CARTA SON LOS U.S. STANDARD.

\* LA DIVISIÓN DE LOS GRUPOS GM Y SM EN SUBDIVISIONES d y u SON PARA CAMINOS Y AEROPUERTOS UNICAMENTE, LA SUB-DIVISIÓN ESTA BASADA EN LOS LÍMITES DE ATTERBERG EL SUFIJO d SE USA CUANDO EL L.L. ES DE 28 O MENOS Y EL I.P. ES DE 6 O MENOS. EL SUFIJO u ES USADO CUANDO EL L.L. ES MAYOR QUE 28.

Tabla para las curvas en espiral.

| VELOCIDAD | 40      |     |     | 50 |     |     | 60 |    |     | 70 |    |     | 80 |    |     | 90 |    |     | 100 |    |     |    |
|-----------|---------|-----|-----|----|-----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-----|----|----|-----|-----|----|-----|----|
| Gc        | Rc      | Ac  | Sc  | Le | Ac  | Sc  | Le | Ac | Sc  | Le | Ac | Sc  | Le | Ac | Sc  | Le | Ac | Sc  | Le  | Ac | Sc  | Le |
| 0° 30'    | 4583.63 | 20  | 2.0 | 22 | 20  | 2.0 | 28 | 20 | 2.0 | 34 | 20 | 2.0 | 39 | 20 | 2.0 | 45 | 20 | 2.0 | 50  | 30 | 2.0 | 54 |
| 0° 35'    | 4583.63 | 20  | 2.0 | 22 | 20  | 2.0 | 28 | 20 | 2.0 | 34 | 20 | 2.0 | 39 | 20 | 2.0 | 45 | 20 | 2.0 | 50  | 30 | 2.0 | 54 |
| 0° 40'    | 4583.63 | 20  | 2.0 | 22 | 20  | 2.0 | 28 | 20 | 2.0 | 34 | 20 | 2.0 | 39 | 20 | 2.0 | 45 | 20 | 2.0 | 50  | 30 | 2.0 | 54 |
| 0° 45'    | 4583.63 | 20  | 2.0 | 22 | 20  | 2.0 | 28 | 20 | 2.0 | 34 | 20 | 2.0 | 39 | 20 | 2.0 | 45 | 20 | 2.0 | 50  | 30 | 2.0 | 54 |
| 1° 00'    | 1145.92 | 30  | 2.0 | 22 | 30  | 2.0 | 28 | 30 | 2.0 | 34 | 30 | 2.0 | 39 | 30 | 2.0 | 45 | 40 | 2.0 | 50  | 40 | 2.0 | 54 |
| 1° 05'    | 974.74  | 30  | 2.0 | 22 | 30  | 2.0 | 28 | 30 | 2.0 | 34 | 40 | 2.0 | 39 | 40 | 2.0 | 45 | 40 | 2.0 | 50  | 50 | 2.0 | 54 |
| 1° 10'    | 783.94  | 30  | 2.0 | 22 | 30  | 2.0 | 28 | 40 | 2.0 | 34 | 40 | 2.0 | 39 | 40 | 2.0 | 45 | 50 | 2.0 | 50  | 50 | 2.0 | 54 |
| 1° 15'    | 624.81  | 30  | 2.0 | 22 | 30  | 2.0 | 28 | 40 | 2.0 | 34 | 40 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 50 | 2.0 | 50  | 50 | 2.0 | 54 |
| 1° 20'    | 507.96  | 30  | 2.0 | 22 | 40  | 2.0 | 28 | 40 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 50 | 2.0 | 50  | 60 | 2.0 | 54 |
| 1° 25'    | 429.50  | 30  | 2.0 | 22 | 40  | 2.0 | 28 | 40 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 50 | 2.0 | 50  | 60 | 2.0 | 54 |
| 1° 30'    | 381.97  | 40  | 2.0 | 22 | 40  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 1° 35'    | 352.59  | 40  | 2.0 | 22 | 50  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 1° 40'    | 327.40  | 40  | 2.0 | 22 | 50  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 1° 45'    | 305.58  | 50  | 2.0 | 22 | 50  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 1° 50'    | 286.48  | 50  | 2.0 | 22 | 50  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 1° 55'    | 269.63  | 50  | 2.0 | 22 | 60  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 00'    | 254.65  | 50  | 2.0 | 22 | 60  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 05'    | 241.25  | 50  | 2.0 | 22 | 60  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 10'    | 229.18  | 50  | 2.0 | 22 | 60  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 15'    | 209.35  | 60  | 2.0 | 22 | 60  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 20'    | 190.99  | 60  | 2.0 | 22 | 70  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 25'    | 176.19  | 60  | 2.0 | 22 | 70  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 30'    | 163.70  | 70  | 2.0 | 22 | 70  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 35'    | 152.79  | 70  | 2.0 | 22 | 80  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 40'    | 143.24  | 70  | 2.0 | 22 | 80  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 45'    | 134.81  | 80  | 2.0 | 22 | 80  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 50'    | 127.32  | 80  | 2.0 | 22 | 90  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 2° 55'    | 120.62  | 80  | 2.0 | 22 | 90  | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 00'    | 114.59  | 80  | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 05'    | 109.17  | 80  | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 10'    | 95.49   | 100 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 15'    | 88.15   | 100 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 20'    | 81.85   | 100 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 25'    | 76.39   | 100 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 30'    | 71.62   | 100 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 35'    | 67.41   | 120 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 40'    | 63.66   | 120 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 45'    | 60.31   | 150 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 50'    | 57.30   | 140 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 3° 55'    | 54.57   | 140 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 00'    | 52.09   | 150 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 05'    | 49.82   | 150 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 10'    | 47.75   | 160 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 15'    | 45.84   | 160 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 20'    | 44.07   | 170 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 25'    | 42.44   | 170 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 30'    | 40.93   | 180 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 35'    | 39.51   | 180 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 40'    | 38.17   | 190 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 45'    | 36.90   | 190 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 50'    | 35.69   | 200 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |
| 4° 55'    | 34.53   | 200 | 2.0 | 22 | 100 | 2.0 | 28 | 50 | 2.0 | 34 | 50 | 2.0 | 39 | 50 | 2.0 | 45 | 60 | 2.0 | 50  | 70 | 2.0 | 54 |

Ac Ampliación de la calzada y la corona, en cm.

Sc Sobre elevación, en porcentaje

Le Longitud de la transición, en metros

(Abajo de la línea gruesa se emplearán espirales de transición y arriba se usarán transiciones mixtas)

Notas.- Para grados de curvatura no previstos en la tabla, Ac, Sc y Le se conectarán por interpolación lineal

TABLA 004-6 AMPLIACIONES, SOBREELEVACIONES Y TRANSICIONES PARA CARRETERAS TIPO C

Tabla para la longitud mínima de la curva.

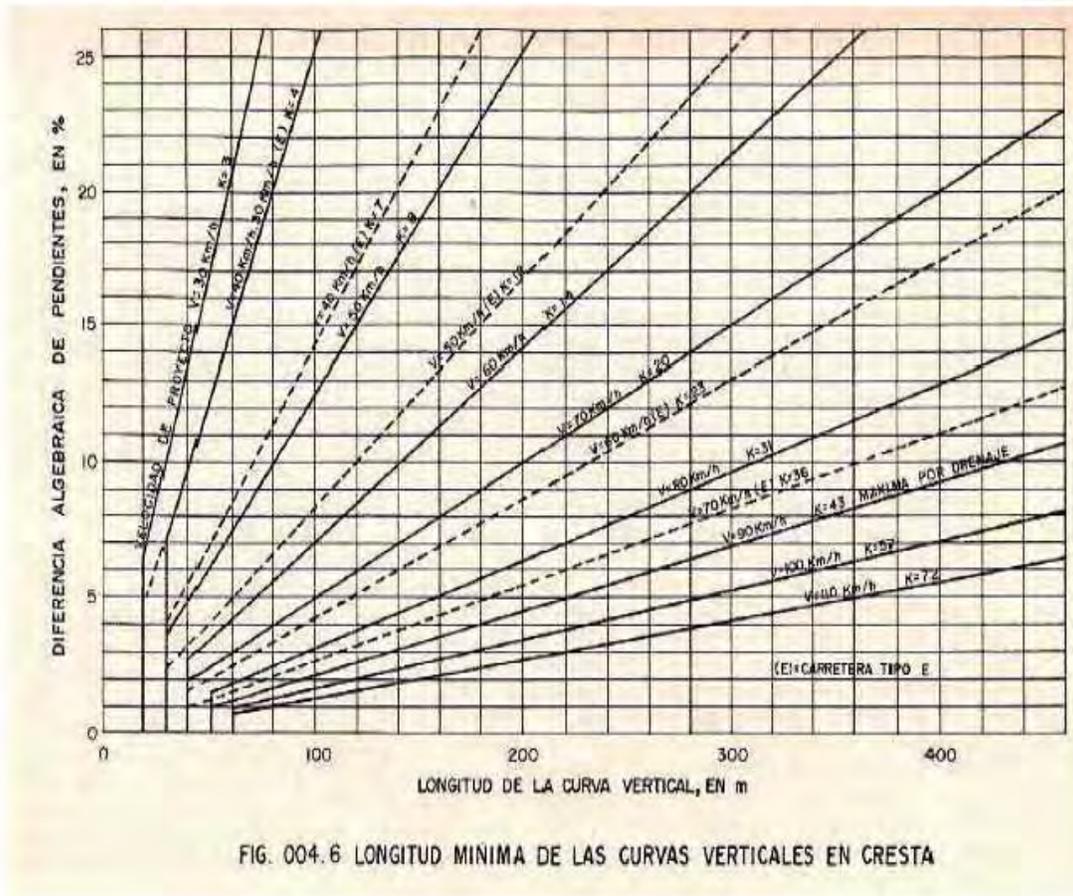


FIG. 004.6 LONGITUD MÍNIMA DE LAS CURVAS VERTICALES EN CRESTA

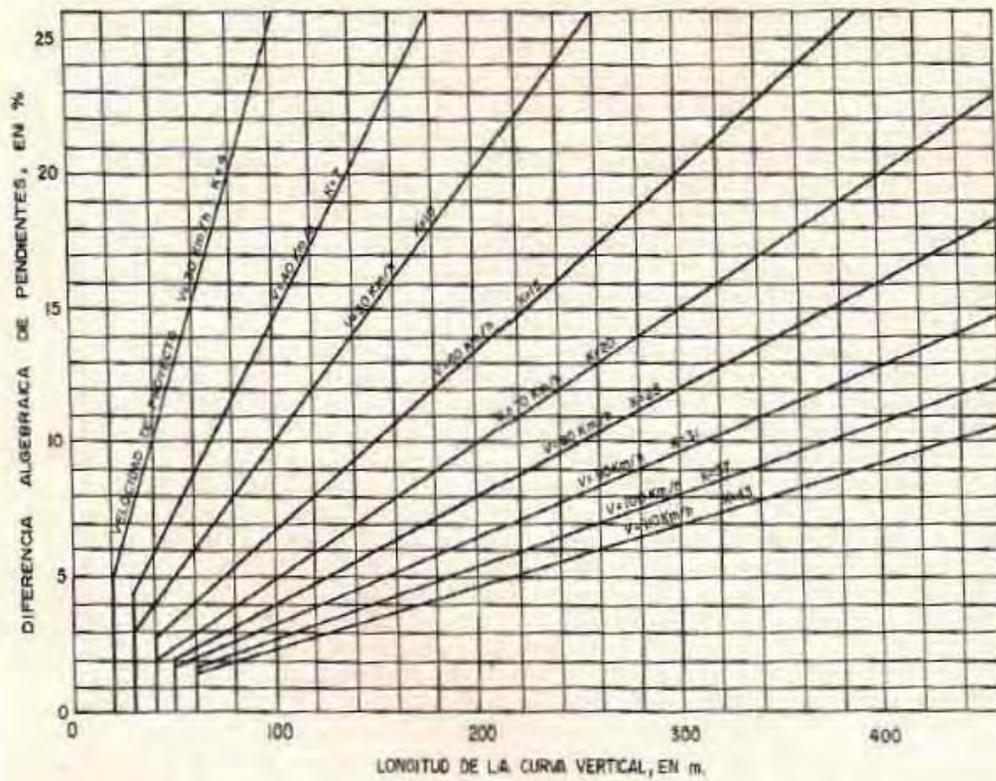
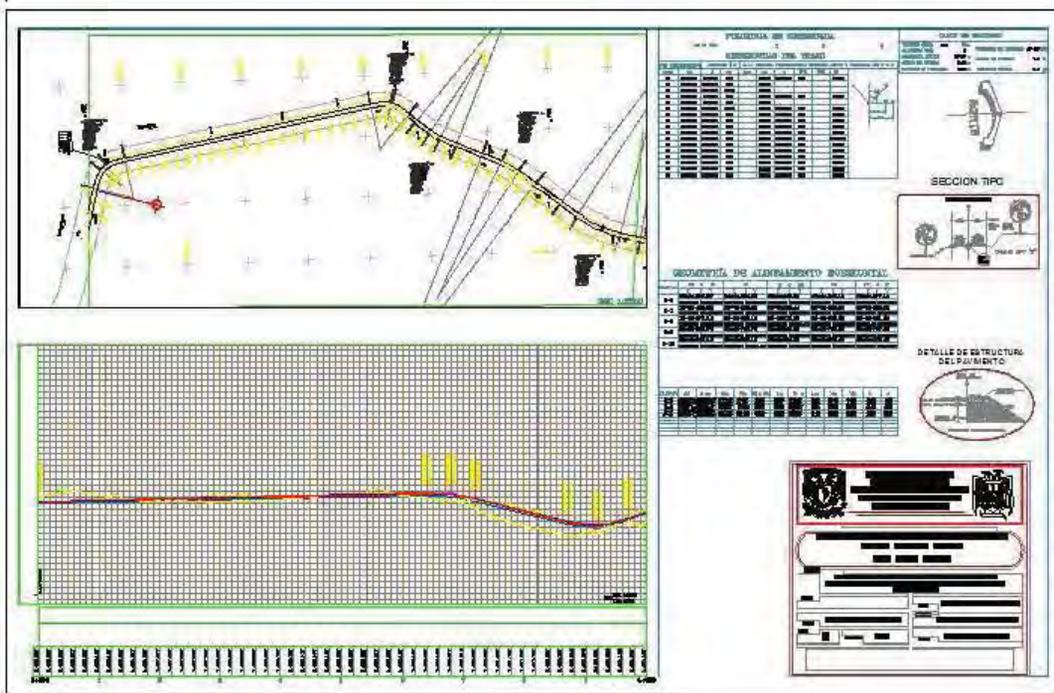


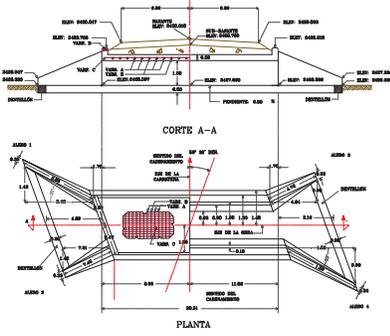
FIG. 004.7 LONGITUD MINIMA DE LAS CURVAS VERTICALES EN COLOMBIA



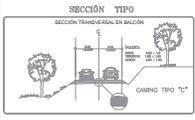
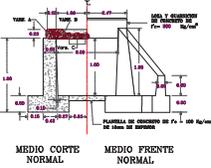


SECCION TRANSVERSAL A 4.00 m de ELEVACION: 1:50  
 SECCION TRANSVERSAL A 4.00 m de ELEVACION: 1:50  
 SECCION TRANSVERSAL A 4.00 m de ELEVACION: 1:50

Pant. Long. de la Nervadura: 1:100



SECCION TRANSVERSAL A 4.00 m de ELEVACION: 1:50  
 SECCION TRANSVERSAL A 4.00 m de ELEVACION: 1:50



**CUADRO 1** Datos tipo tipo II III - II A.

**NOTA:** De acuerdo de  $F_{cm} = 25 \text{ N/mm}^2$  y  $f_{ctd} = 1.5 \text{ N/mm}^2$  las varillas A y B se colocaran paralelas al eje del momento y las varillas C y D se colocaran perpendicular al eje del momento.

La separacion minima para las varillas A y B se calcula según el eje de la fibra y para las varillas C y D según sea preferente tipo.

El recubrimiento superior sera de 2.00 cm y el inferior será de 3.00 cm.

**REINFORZO Y CANTIDAD:** Varilla de acero de  $F_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ .

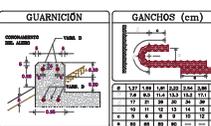
**DETALLE DEL REINFORZO:** El momento máximo de los datos será el indicado en caso de que el momento de servicio superior sea otro caso particular. Cuando se trate de momentos negativos se colocaran en el punto, y cuando se trate del tipo momento de apoyo se colocaran en el punto de momento de apoyo.

**REINFORZO:** Las dimensiones y los detalles en las vigas se indican en los detalles y en la sección según el eje de la fibra según sea indicado en los detalles y en la sección según sea preferente de datos.

**NOTAS**

**REINFORZO:** Las de acero de  $F_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ .

**REINFORZO:** Las de acero de  $F_{yk} = 500 \text{ N/mm}^2$ .



**DETALLE DE VARILLAS**

| TIPO   | SECCION | LONG. | REINFOR. | PROB. |
|--------|---------|-------|----------|-------|
| VAR. A | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. B | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. C | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. D | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. E | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. F | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. G | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. H | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. I | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. J | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. K | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. L | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. M | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. N | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. O | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. P | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. Q | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. R | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. S | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. T | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. U | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. V | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. W | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. X | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. Y | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |
| VAR. Z | 10      | 4.00  | 1.00     | 100%  |

UNIVERSIDAD DON VASCO  
 Universidad No. 4571-70  
 A. GARCIA DE LA FUENTE, 10  
 E. GARCIA DE LA FUENTE, 10  
 E. GARCIA DE LA FUENTE, 10

PROYECTO: PROYECTO GEOMETRICO

ELABORADO: [Nombre]

REVISADO: [Nombre]

APROBADO: [Nombre]